



TUGAS AKHIR - TE141599

**RANCANG BANGUN ROBOT PENGAMBIL OBJEK
BAWAH AIR**

**PANDU AULIA DYAKSA
NRP 2213100094**

**Dosen Pembimbing
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.**



TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN ROBOT PENGAMBIL OBJEK
BAWAH AIR**

Pandu Aulia Dyaksa
NRP 2213100094

Dosen Pembimbing
Ronny Mardiyanto, ST. MT. Ph.D.
Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE141599

Design and Implementation Robot For Taking Underwater Object

Pandu Aulia Dyaksa
NRP 2213100094

Advisor
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN ROBOT PENGAMBIL OBJEK
BAWAH AIR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198101182003121003



Dr. Ir. Dioko Purwanto, M.Eng.
NIP. 196512111990021002



Halaman ini sengaja dikosongkan

Rancang Bangun Robot Pengambil Objek Bawah Air

Pandu Aulia Dyaksa

2213100094

Pembimbing I : Ronny Mardiyanto. S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing II : Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng

ABSTRAK

Robot pengambil objek bawah air merupakan pengembangan dari *Underwater ROV* kelas IIIa dengan berat 3.5 kg, robot ini memiliki fungsi untuk mengambil objek yang berada dibawah air dalam kondisi stabil menggunakan lengan yang dilengkapi dengan *gripper*. ROV ini diperankan sebagai alat multifungsi dan keperluan darurat. Seperti pemasangan kail katrol pada suatu objek yang akan diangkat. Sehingga jenis *gripper* yang digunakan pada robot ini adalah *adaptive gripper* yang mampu menyesuaikan bentuk objek yang diambil. Pada bagian antarmuka, robot ini dilengkapi dengan remot kontrol untuk mengendalikan pergerakan robot dan monitor untuk menampilkan citra yang ditangkap oleh kamera robot. Robot ini dilengkapi dengan sistem kestabilan guna mempertahankan posisi robot ketika CoG (*Center of Gravity*) bergeser. Pergeseran CoG disebabkan oleh penambahan beban pada saat mengambil objek, dampak dari pergeseran CoG oleh penambahan beban adalah posisi robot menjadi miring dan tenggelam, sehingga dapat mengganggu orientasi pergerakan robot. Sistem kestabilan ini menggunakan kontrol PID dengan *feedback* sensor tekanan dan IMU (*accelerometer dan gyroscope*) Sensor tekanan digunakan untuk mengetahui posisi kedalaman robot dan sensor IMU digunakan untuk mengetahui derajat kemiringan robot terhadap posisi normal robot, yang kemudian diproses pada mikrokontroler untuk memberikan perintah pada aktuator. Lengan robot ketika didarat mampu mengangkat beban sebesar hingga 700 gram dengan diameter maksimum 9 cm. Robot mampu mempertahankan kestabilan dengan error 5 derajat pada gelombang dengan tinggi 25 cm dan kedalaman 10 cm. Kontrol PID dengan Kp 6, Ki 0.04, dan Kd 10 menghasilkan rise time 0.408 s, overshoot 2 derajat, settling time 0.98 s, dan *error stady state* 0.2 derajat.

Kata kunci: *Underwater ROV; Adaptive gripper; Accelerometer; Gyroscope; Preasure.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Design and Realization of Underwater Remotely Operated Robot for Taking an Object

Pandu Aulia Dyaksa
2213100094

Pembimbing I : Ronny Mardiyanto. S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng

ABSTRACT

Underwater ROV is a development of Underwater ROV IIIa class and 3.5 kg weight, this robot has a function to retrieve underwater objects in stable condition using a robotic arm equipped with a gripper. The type of gripper used in this robot is adaptive gripper that is able to adjust the shape of the object. In the interface, the robot is equipped with remote controls to control the movement of robots and monitors to display images that captured by the robot cameras. This robot is equipped with a stability system to hold the robot position when CoG (Center of Gravity) shifting. CoG shift caused by the addition of load at the time of taking the object, the impact of CoG shift by the addition of load is the position of the robot into a tilt and sink, so it can interfere with the orientation of the robot movement. This stability system uses PID control with pressure sensor feedback and IMU (accelerometer and gyroscope) Pressure sensors are used to determine the robot depth position and IMU sensors are used to determine the degree of error by the robot from the normal position of the robot, which is then processed on the microcontroller to give commands on the actuator. The robot arm is capable to hold up a load under 700 grams with a maximum diameter is 9 cm. Robot is able to keep the stability with error 5 degrees on wave with height 25 cm and depth 10 cm. The PID control with Kp 6, Ki 0.04, and Kd 10. Parameters of the respon are 0.408 s risetime, 2 degree overshoot, 0.98 s settling time, and 0.2 degree steady state error.

Keyword: Underwater ROV; Adaptive gripper; Accelerometer; Gyroscope; Pressure.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilaalamin, segala puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat, berkah, dan hidayah-Nya yang tak terkira kepada penulis, hingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

RANCANG BANGUN ROBOT PENGAMBIL OBJEK BAWAH AIR

Tujuan utama tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan pada Bidang Studi Elektronika Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak H. Pri Hendarmanto dan ibu Budi Rahayu adalah kedua orang tua penulis yang tiada hentinya memberikan doa restu, dukungan moril dan materil.
2. Bapak Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 atas gagasan topik tugas akhir serta bimbingan dan arahan untuk penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.Ir. Djoko Purwanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 atas bimbingan dan arahan untuk penulis selama mengerjakan tugas akhir ini. Elektro ITS Surabaya.
4. Seluruh dosen bidang studi elektronika jurusan teknik elektro ITS.
5. Teman-teman bidang studi elektronika yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan penulis semangat dan canda tawa selama menjalani perkuliahan di teknik elektro ITS.

Penulis berharap para pembaca Tugas Akhir ini bersedia memberikan kritik, saran, dan masukan agar selanjutnya menambah manfaat Tugas Akhir.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan bisa dijadikan referensi bagi Tugas Akhir selanjutnya.

Surabaya, 27 Juli 2017

Pandu Aulia Dyaksa

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi.....	6
BAB II.....	7
TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 Dasar Teori.....	7
2.1.1 Bilgepump motor	7
2.1.2 Motor Servo	8
2.1.3 Sensor Tekanan	8
2.1.4 Sensor IMU (<i>Inertial Measurement Unit</i>).....	9
a. Akselerometer	9
b. Girooskop.....	9
2.1.5 Kuaternion.....	10
2.1.6 Sudut Euler.....	12
2.1.7 Proportional-Integral-Derivative (PID).....	13
2.1.8 Hukum Archimedes	15
2.1.9 Kinematika Robot	16
2.1.10 <i>Adaptive Gripper</i>	16
2.1.11 Kinematika Robot Plannar 2 DoF Manipulator	21
2.1.12 Kinematika Gerak Tricopter	22
2.1.13 Arduino Nano	25
2.1.14 Driver motor	26
2.1.15 Remote kontrol	26

2.2	Tinjauan Pustaka.....	27
	BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	33
3.1	Diagram Blok Sistem.....	34
3.2	Perancangan Perangkat Keras.....	35
3.2.1	Desain Robot	35
3.2.2	Pergerakan Robot.....	37
3.2.3	Gaya Motor Terhadap CG Robot.....	39
3.2.4	Pergerakan Robot.....	40
3.2.5	Lengan Robot.....	44
3.2.6	Driver motor	49
3.2.7	Rangkaian Suplai Daya.....	50
3.2.8	Sensor IMU.....	50
3.2.9	Sensor Tekanan.....	51
3.2.10Arduino Nano 51	
3.3	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	52
3.3.1	Remote kontrol	52
3.3.2	Akuisisi Data Sensor IMU	53
3.3.3	Kalibrasi IMU	54
3.3.4	Akuisisi data sensor tekanan MS5803-14BA	55
3.3.5	Perancangan gerak robot.....	56
3.3.6	Kontrol PID	56
3.3.7	<i>Stabilizer</i> dan <i>Depth-hold</i>	60
	Perancangan Gerak Lengan	60
3.3.8	Perancangan gerak lengan	60
3.4	Spesifikasi Robot.....	60
	BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS	61
4.1	HMI (<i>Human Machine Interface</i>).....	62
4.2	Pengujian Gaya Dorong Motor.....	63
4.3	Pengujian Wahana Dalam Air	63
4.4	Pengujian <i>Stabilizer</i>	64
4.2.1	Kemiringan <i>Roll</i> Terhadap Kecepatan Putaran Motor.....	64
4.2.2	Kemiringan <i>Pitch</i> Terhadap Kecepatan Putaran Motor	65
4.3	Kontrol Kedalaman.....	67
4.2	Kontrol PID	70
4.3	Kemampuan Penyesuaian Genggaman <i>Gripper</i> Terhadap Bentuk dan Berat Objek	72
4.4	Kestabilan Saat Mengambil Objek	73

4.5	Kestabilan Dalam Air Bergelombang	75
4.6	Kestabilan Dalam Gangguan Acak	87
	BAB V	91
	PENUTUP	91
5.1	Kesimpulan	91
5.2	Saran	91
	DAFTAR PUSTAKA	93
	BIODATA PENULIS	97

Halaman ini sengaja dikosongkan

TABEL OF CONTENT

LEGAL SHEET	i
ABSTRACT	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
PREFACE	vii
TABLE OF CONTENTS	ix
LIST OF FIGURES	xvii
CHAPTER I	1
INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problem Formulation	3
1.3 Objective	3
1.4 Limitations of Problems	3
1.5 Methodology	4
1.6 Systematics	5
1.7 Relevance	6
CHAPTER II	7
BASIC THEORY	7
2.1 Basic Theory	7
2.1.1 Bilgepump motor	7
2.1.2 Motor Servo	8
2.1.3 Pressure Sesor	8
2.1.4 IMU Sensor (<i>Inertial Measurement Unit</i>)	9
a. Accelerometer	9
b. Gyroscope	9
2.1.5 Kuaternion	10
2.1.6 Euler	12
2.1.7 Proportional-Integral-Derivative (PID)	13
2.1.8 Archimedes Laq	15
2.1.9 Kinematics	16
2.1.10 <i>Adaptive Gripper</i>	16
2.1.11 Robot Kinematics Plannar 2 DoF Manipulator	21
2.1.12 Motion Kinematics of Tricopter	22
2.1.13 Arduino Nano	25
2.1.14 Motor Driver	26
2.1.15 Remote Control	26

2.2	Literature	27
	CHAPTER III SYSTEM DESIGN	33
3.1	Diagram Block System	34
3.2	Hardware Design	35
3.2.1	Mechanics Design.....	35
3.2.2	Robot movement.....	37
3.2.3	Center of Gravity Robot	39
3.2.4	Robot Movement	40
3.2.5	Robot Arm	44
3.2.6	motor driver	49
3.2.7	Power supply	50
3.2.8	IMU Sensor.....	50
3.2.9	Pressure Sensor	51
3.2.10Arduino Nano51	
3.3	Software.....	52
3.3.1	Remote control.....	52
3.3.2	Acquisition of IMU Data	53
3.3.3	IMU Calibration.....	54
3.3.4	Pressure Data Acquisition.....	55
3.3.5	Robot Motion.....	56
3.3.6	PID Control.....	56
3.3.7	Stabilizer and Depth-hold	60
3.3.8	Arm kinematics.....	60
3.4	Robot Specification	60
	CHAPTER IV TEST AND ANALYSIS	61
4.1	HMI (<i>Human Machine Interface</i>).....	62
4.2	Motor Thrust.....	63
4.3	Mechanical test	63
4.4	Stabilizer	64
4.2.1	Roll vs RPM	64
4.2.2	Pitch vs RPM.....	65
4.3	Depth Hold	67
4.2	PID Control.....	70
4.3	Adaptive Gripper	72
4.4	Stability on different CoG.....	73
4.5	Stability in Flumetank.....	75
4.6	Stability in Random Distractions	87

CHAPTER V CONCLUSION	91
5.1 Conclusion.....	91
5.2 Suggestion.....	91
REFERENCE	93
BIOGRAPHY	97

DAFTAR GAMBAR

BAB 2

Gambar 2. 1 Motor <i>bilgepump</i>	7
Gambar 2. 2 MS5803-14BA	8
Gambar 2. 3 Representasi Kuaternion.....	11
Gambar 2. 4 Pendekatan kuaternion dengan sudut Euler	12
Gambar 2. 5 Hukum Archimedes.....	15
Gambar 2. 6 ilustrasi gripper.....	17
Gambar 2. 7 ilustrasi genggam gripper	17
Gambar 2. 8 analisa kinematika robot.....	21
Gambar 2. 9 Tricopter	22
Gambar 2. 10 Cara kerja rangkaian H-Bridge.....	26
Gambar 2. 11 Radiolink AT9.....	26
Gambar 2. 12 LBV150-4	30

BAB 3

Gambar 3. 1 Ilustrasi sistem.....	33
Gambar 3. 2 Diagram blok rancangan sistem	34
Gambar 3. 3 Desain robot pada software <i>freecad</i>	35
Gambar 3. 4 Dimensi Tabung	36
Gambar 3. 5 perubahan putaran motor terhadap gerakan robot	38
Gambar 3. 6 Ilustrasi terhadap sumbu x y.....	39
Gambar 3. 7 Gaya yang terjadi ketika bergerak naik atau turun	41
Gambar 3. 8 koefisien hambat	42
Gambar 3. 9 ilustrasi gaya yang terjadi pada robot.....	43
Gambar 3. 10 Desain gripper menggunakan freecad	45
Gambar 3. 11 Ilustrasi <i>gripper</i>	45
Gambar 3. 12 notasi gripper.....	46
Gambar 3. 13 Notasi untuk plannar 2 DOF	47
Gambar 3. 14 (a)Ilustrasi gripper terbuka (b)ilustrasi gripper tertutup .	48
Gambar 3. 15 H bridge.....	49
Gambar 3. 16 Rangkaian regulator tegangan 5-6V	50
Gambar 3. 17 Rangkaian Skematik MPU6050	51
Gambar 3. 18 Sinyal PPM remot kontrol	53
Gambar 3. 19 Koneksi antara IMU dan Arduino	54
Gambar 3. 20 Diagram alir kalibrasi	55
Gambar 3. 21 grafik ketelitian MS5803.....	55
Gambar 3. 22 peletakan motor	56
Gambar 3. 23 blok diagram PID	57

Gambar 3. 24 Diagram kontrol PID.....	58
Gambar 3. 25 Blok diagram untuk masing-masing motor.....	59
Gambar 3. 26 blok diagram <i>stabilizer</i> dan <i>depth-hold</i>	60
BAB 4	
Gambar 4. 1 Robot secara keseluruhan.....	61
Gambar 4. 2 Robot tampak atas.....	62
Gambar 4. 3 tampilan layar monitor.....	62
Gambar 4. 4 posisi robot ketika didalam air.....	63
Gambar 4. 5 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan <i>roll</i>	65
Gambar 4. 6 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan <i>pitch</i>	66
Gambar 4. 7 Respon kecepatan motor setelah kalibrasi (<i>roll</i>).....	67
Gambar 4. 8 Respon kecepatan motor setelah kalibrasi (<i>pitch</i>).....	67
Gambar 4. 9 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap nilai <i>error</i> kedalaman sebelum kalibrasi.....	68
Gambar 4. 10 Respon kecepatan putaran motor setelah kalibrasi.....	69
Gambar 4. 11 Pengujian dalam air.....	70
Gambar 4. 12 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan.....	71
Gambar 4. 13 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan.....	71
Gambar 4. 14 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan.....	72
Gambar 4. 15 Pengujian pengambilan objek.....	74
Gambar 4. 16 Grafik kestabilan pitch saat mengambil objek.....	74
Gambar 4. 17 Dimensi flumetank.....	75
Gambar 4. 18 kemiringan pitch.....	76
Gambar 4. 19 kemiringan roll.....	76
Gambar 4. 20 error kedalaman.....	77
Gambar 4. 21 kemiringan pitch.....	77
Gambar 4. 22 kemiringan roll.....	78
Gambar 4. 23 error kedalaman.....	78
Gambar 4. 24 kemiringan pitch.....	79
Gambar 4. 25 kemiringan roll.....	79
Gambar 4. 26 error kedalaman.....	80
Gambar 4. 27 kemiringan pitch.....	81
Gambar 4. 28 kemiringan roll.....	81
Gambar 4. 29 error kedalaman.....	82
Gambar 4. 30 pengaruh stabilizer.....	83
Gambar 4. 31 Grafik perbedaan menggunakan stabilizer dan tidak.....	83
Gambar 4. 32 Grafik kemiringan pitch.....	84

Gambar 4. 33 Grafik kemiringan roll.....	84
Gambar 4. 34 Grafik error kedalaman	85
Gambar 4. 35 Grafik PWM motor 1	85
Gambar 4. 36 Grafik PWM motor 2	86
Gambar 4. 37 Grafik PWM motor 3	86
Gambar 4. 40 Respon kestabilan roll	87
Gambar 4. 41 Respon kestabilan pitch.....	88
Gambar 4. 42 respon kontrol kedalaman	88

DAFTAR TABEL

BAB 2

Tabel 2. 1 Kuaternion.....	10
----------------------------	----

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino NANO Atmega 328.....	25
---	----

BAB3

Tabel 3. 1 Ukuran diameter tali plastic yang biasa digunakan.....	46
---	----

Tabel 3. 2 Ukuran diameter tali yang biasa digunakan pada kapal	46
---	----

Tabel 3. 3 Panjang lengan <i>gripper</i>	47
--	----

Tabel 3. 4 nilai maksimum sudut tiap joint.....	47
---	----

Tabel 3. 5 Jangkauan sudut pada analisa 2 DOF.....	48
--	----

Tabel 3. 6 Kanal remot kontrol	53
--------------------------------------	----

Tabel 3. 7 Arah gaya dorong putaran baling-baling.....	56
--	----

Tabel 3. 8 Spesifikasi robot.....	60
-----------------------------------	----

BAB 4

Tabel 4. 1 pemberian beban	64
----------------------------------	----

Tabel 4. 2 Kesalahan respon kecepatan motor terhadap sudut <i>roll</i>	66
--	----

Tabel 4. 3 Data kecepatan putaran motor terhadap nilai error kedalaman sebelum kalibrasi	68
--	----

Tabel 4. 4 Data kecepatan putaran motor terhadap nilai error kedalaman setelah kalibrasi	69
--	----

Tabel 4. 5 pengujian kemampuan genggam <i>gripper</i>	73
---	----

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Underwater ROV sudah tidak asing lagi untuk memenuhi kegiatan observasi, eksplorasi, eksploitasi, pembangunan bawah air, pemasangan pipa dan kabel dalam laut, inspeksi atau pemeriksaan untuk keperluan perawatan dan antisipasi[1], bahkan pencarian dan penyelamatan korban hilang seperti dalam beberapa kasus silam pesawat hilang dan lain sebagainya. Dalam berbagai aktivitas tersebut memiliki berbagai prosedur masing – masing untuk melaksanakannya. *Underwater ROV* hampir selalu berperan penting dalam aktivitas – aktivitas bawah air.

Pada tahun 2014 silam pesawat airasia QZ8501 jatuh di wilayah perairan laut jawa yang luasnya mencapai 320.000 kilometer persegi, sehingga membutuhkan banyak personil untuk menyisir laut jawa, salah satunya kapal Baruna Jaya 1 (BJ 1) yang dilengkapi peralatan berbasis teknologi termasuk *underwater ROV* yang berfungsi untuk menampilkan visual gambar video dari dasar laut.

Biaya operasional *underwater ROV* lebih ekonomis jika dibandingkan dengan biaya operasional penyelam atau kapal selam ber-awak, dengan menggunakan wahana ini dapat menekan biaya yang harus dikeluarkan, seperti pemeriksaan pada area bangunan atau peralatan yang harus dilakukan secara berkala[2]. Asosiasi Perusahaan Pengangkatan dan Pemanfaatan Benda Berharga Asal Muatan Kapal yang Tenggelam di Cirebon pada tahun 2005. Proses pengangkatan 1 penyelam itu tidak boleh lebih dari 30 menit penyelam harus naik, dan tidak boleh lebih dari 2 kali menyelam setiap harinya. Biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 3 juta/jam untuk penyelam ahli dan Rp 1 juta/hari bagi penyelam biasa. (Harry Satrio ASPBMKT, 2015)

Penggunaan *underwater ROV* memiliki efisiensi yang lebih jika dibandingkan dengan penyelam. Manusia memiliki keterbatasan untuk menjelajahi air yang dalam, hal tersebut dikarenakan tekanan air yang semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman air.

Sehingga dengan memanfaatkan wahana ini dapat menambah kemampuan jelajah yang lebih dalam dan mengurangi resiko cedera pada manusia. Pemasangan kabel optik antar pulau, pengecekan pipa didalam danau atau laut, observasi terumbu karang, observasi biota laut, dan masih banyak yang lain. Indonesia memiliki wilayah perairan dangkal yang sangat luas. Sejauh ini pengamatan biota laut beserta lingkungan di sekitarnya sangat tergantung jam terbang ilmuwan yang bisa menyelam. Namun observasi bawah laut dengan menggunakan seorang ahli selam atau penyelam memiliki resiko yang cukup berbahaya. Karena manusia memiliki keterbatasan untuk mampu menahan tekanan dikedalaman air yang sangat besar. Kondisilaut pada kedalaman puluhan meter atau ratusan meter memiliki suhu dan pencahayaan yang sangat minim menyebabkan jarak pandang sangat terbatas. Selain itu kondisi topografi laut yang tidak dapat dijangkau oleh manusia seperti gua laut kecil dan bangkai kapal[1].

Pada tugas akhir ini merupakan pengembangan robot monitor bawah air berbasis sistem ROV (*remotely operated vehicle*) yang dilengkapi dengan sistem kesetabilan dan lengan untuk mengambil sebuah objek. Secara sederhana cara kerja dari robot berbasis ROV adalah dioperasikan menggunakan sistem yang dikendalikan oleh pengguna melalui perangkat kontroler. Sistem kamera video bawah air juga akan dipasang pada wahana aktif tak berawak ini yang dikendalikan dari permukaan air. Sistem kendali dan robot itu sendiri dihubungkan dengan media kabel.

Kondisi bawah air merupakan suatu penentu keberhasilan proses pengambilan suatu objek, kondisi yang dimaksud antara lain seperti arus air yang mempengaruhi kesetabilan dari robot untuk mempertahankan posisinya, jika robot dikendalikan secara manual maka akan sangat sulit bagi operator untuk melakukan pengambilan suatu objek didalam kondisi arus air yang dapat menggeser posisi dari wahana atau robot, penambahan *stabilizer* bertujuan untuk mengurangi faktor-faktor yang menyebabkan robot dapat terombang-ambing oleh arus air atau bahkan dari beban yang dibawa oleh robot ini, dengan adanya *stabilizer* ini operator apat melakukan proses pengambilan yang lebih mudah. Cara kerja *stabilizer* ini menggunakan input dari sensor IMU(*initial measurement unit*) yang didalamnya terdiri dari sensor kemiringan suhu, dan juga ditambahkan sensor kedalaman air untuk mengetahui posisi dari

wahana pada saat beroperasi, kemudian data-data yang didapatkan dari sensor akan diproses oleh *processing unit* yang kemudian akan memberikan perintah kepada aktuator untuk mempertahankan kestabilan wahana. Sehingga operator tidak lagi menggerakkan posisi robot secara manual untuk mempertahankan kestabilan wahana ketika proses pengambilan objek. Pengambilan sebuah objek menggunakan lengan manipulator yang dipasang pada badan robot, lengan robot dilengkapi dengan *gripper* pada ujung lengan bertujuan untuk menggenggam objek yang dituju. Pengambilan objek dibutuhkan kestabilan robot untuk memudahkan proses pengambilan, karena penambahan beban pada bagian lengan robot menyebabkan posisi robot miring. Sehingga pada tugas akhir ini pengontrolan kestabilan menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* yang kemudian diproses pada mikrokontroler untuk memberikan perintah pada motor penggerak.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Perancangan mekanik robot bawah air.
2. Kontrol pengendalian arah gerakan robot dibawah air.
3. *Stabilizer* dengan *feedback* sensor MPU6050 dan kontrol kedalam dengan *feedback* sensor MS5803.
4. Perancangan lengan robot untuk mengambil objek dibawah air.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam perancangan ini adalah :

1. Robot mampu bertahan didalam air tanpa ada kebocoran.
2. Menghasilkan sistem kendali robot ketika didalam air.
3. Pembuatan ROV yang dapat mengambil sebuah benda dibawah air dan mampu secara otomatis menjaga keseimbangan dan kedalamannya.
4. menghasilkan lengan robot yang dapat digunakan oleh ROV untuk mengambil objek dibawah air.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem kendali dan robot terhubung dengan kabel dengan panjang kurang dari 6 meter.

2. Robot mampu mengangkat beban maksimal 1 kg dalam air.
3. Robot hanya diuji pada kedalaman 2 m (akuarium uji).
4. Robot dapat dioperasikan dalam air yang mampu ditembus cahaya.
5. Tekanan maksimum sebesar 12 bar.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penyelesaian tugas akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut:

1.5.1 Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan tugas akhir. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, *proceeding*, dan artikel-artikel di internet.

1.5.2 Perancangan sistem

Perancangan sistem terbagi sebagai berikut:

a. Perancangan Perangkat Keras

Sistem perangkat keras yang akan dikerjakan adalah pembuatan mekanisme wahana *ROV*. Alat ini akan dibuat dengan *3D printer* dengan bantuan *software freecad*. pada robot terdapat 5 *propeller* yang digerakan oleh 5 motor *brushed* guna mengendalikan gerakan robot, antara lain :

- 2 *propeller* menghadap horizontal untuk mengendalikan robot bergerak maju/mundur
- 3 *propeller* menghadap vertical untuk mengendalikan robot bergerak naik/turun

b. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak meliputi proses pembacaan sinyal remot kontrol, sensor akselerometer dan sensor giroskop. Realisasi program kesetabilan. Algoritma gerakan robot terhadap perubahan perubahan remot kontrol. Algoritma program untuk mensinkronisasi sudut kemiringan robot dengan pwm untuk mengatur kecepatan putaran motor. Algoritma gerakan lengan robot terhadap remot kontrol.

1.5.3 Pengujian sistem

Pengujian alat ini dilakukan untuk menentukan keandalan dari sistem yang telah dirancang. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah *software* dan *hardware* dapat berkerja dengan baik. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama adalah pengujian algoritma remot kontrol. Kedua adalah pengujian pengujian sensor-sensor yang digunakan. Ketiga adalah pengujian pengatur kecepatan motor dc. Keempat adalah pengujian sistem kesetabilan robot. Kelima adalah pengujian gerakan lengan robot. Yang terakhir adalah pengujian keseluruhan sistem robot untuk mengambil sebuah benda yang terletak dibawah air.

1.5.4 Analisa

Analisa dilakukan terhadap hasil dari pengujian sehingga dapat ditentukan karakteristik dari *software* dan *hardware* yang telah dibuat. Apabila karakteristik dari *software* dan *hardware* pada sistem belum sesuai, maka perlu dilakukan perancangan ulang sistem dan diuji kembali.

1.5.5 Penyusunan laporan tugas akhir

Tahap penulisan laporan tugas akhir adalah tahapan terakhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir berisi seluruh hal yang berkaitan dengan tugas akhir yang telah dikerjakan yaitu meliputi pendahuluan, teori penunjang, perancangan sistem, pengujian, dan penutup.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari Lima Bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 :PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

Bab 2 :DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang dasar-dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yang meliputi teori kinematika robot, motor servo, sensor IMU, sensor tekanan.

Bab 3: PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan, sistem elektrik, mekanik, serta perangkat lunak. Bab ini juga berisi menjelaskan tentang prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

Bab 4 : PENGUKURAN DAN ANALISIS SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dari pengujian tiap blok sistem secara keseluruhan.

Bab 5 : PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan meliputi kekurangan-kekurangan pada kerja alat dari hasil analisa serta saran untuk pengembangan ke depan.

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini dapat dikembangkan menjadi lebih berguna. Robot pengambil objek bawah ini telah dilengkapi dengan sistem *stabilizer*, dan lengan robot yang dirancang dengan *motion planning* dan dikendalikan secara manual. Robot ini dapat dikembangkan pada jarak pengendalian dengan menambahkan kapal induk diatas air kemudian menggunakan komunikasi wireless.

BAB II

TEORI PENUNJANG

Teori penunjang dalam bab ini menjelaskan tentang teori yang berhubungan dengan keseluruhan sistem yang akan dibuat pada tugas akhir ini.

2.1 Dasar Teori

Dengan menggunakan beberapa teori yang telah ada maka dapat digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2.1.1 Bilgepump motor

Bilgepump motor merupakan pompa air yang biasa digunakan untuk menyedot air dalam perahu yang diletakan didasar lambung kapal, sehingga air yang masuk ke dalam lambung kapal dapat dipompa keluar. *Bilgepump motor* mampu bertahan didalam air karena memiliki pembungkus kedap air.

Pada tugas akhir ini digunakan 5 buah *bilgepump motor* sebagai penggerak utama, dengan spesifikasi 1100 gph dengan tegangan masukan sebesar 12 volt dan arus maksimal adalah sebesar 3.5 A.



Gambar 2. 1 Motor *bilgepump*

2.1.2 Motor Servo

Servo Motor adalah suatu aktuator yang dapat dikontrol dengan suatu sudut perputaran atau perpindahan linear. Motor servo mempunyai konfigurasi gear sehingga motor servo dapat mudah dikontrol. Motor servo pada umumnya dapat dikontrol mulai dari sudut 0 hingga 180 derajat. Ada pula motor servo yang dapat dikontrol secara kontinyu dengan kecepatan yang dapat diatur pula.

Servo motor dikontrol menggunakan sinyal PWM dengan frekuensi 50Hz. Panjang sinyal pulse yang mengontrol bermacam-macam. Standard panjang sinyal pulse untuk mengontrol servo adalah 1000 microsecond sampai dengan 2000 microsecond, namun biasanya sinyal pulse yang mengontrol motor servo berkisar 700 microsecond sampai dengan 2300 microsecond[11].

Pada penelitian ini digunakan beberapa motor servo sebagai penggerak lengan robot. Dengan motor servo, setiap sudut bagian lengan robot dapat dihitung dengan mudah. Kelemahan dari motor servo adalah harganya yang mahal seiring dengan bertambahnya torsi yang dapat di topang motor servo. Keterbatasan torsi dan ketidak terjangkau harga motor servo seringkali mengakibatkan berubahnya konstruksi lengan robot.

2.1.3 Sensor Tekanan

Pressure sensor atau sensor dapat mengukur tekanan air yang terjadi pada membran, sehingga dapat dijadikan acuan pada tingkat tekanan pada kedalaman tertentu, tekanan air hakikatnya memiliki hubungan dengan kedalaman air.

Pressure sensor yang digunakan adalah MS5803-14BA, sensor ini menggunakan *piezo-resistive sensor* untuk mengukur tekanan air. Fungsi utama dari modul sensor ini adalah mengkonversi sinyal analog yang dihasilkan oleh *piezo-resistive sensor* menjadi sinyal digital sebesar 24-bit. Sensor ini memiliki kemampuan ukur dengan jarak tekanan sebesar 0-bar hingga 14-bar[12].



Gambar 2. 2 MS5803-14BA

Hubungan kedalaman air dengan tekanan adalah berbanding lurus, setiap satu mbar mewakili satu cm, sehingga sensor ini hanya mampu membaca tekanan hingga kedalaman 14 meter dari permukaan air dengan kondisi air tawar normal.

2.1.4 Sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*)

IMU adalah singkatan dari *Inertial Measurement Unit*, adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur sudut *roll*, sudut *pitch*, dan sudut *yaw*. Implementasi yang paling sering digunakan ketiga sudut ini adalah untuk menentukan orientasi dari sebuah pesawat udara saat terbang relatif terhadap bumi. Dengan pendekatan ketiga sudut (*roll*, *pitch*, *yaw*) ke sudut Euler maka akan didapatkan nilai kartesian dari sudut-sudut pada sumbu x, sumbu, dan sumbu z. Dalam mengukur orientasinya, IMU memerlukan tiga sensor pendukung yaitu magnetometer, akselerometer, dan giroskop[19].

a. Akselerometer

Akselerometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan suatu objek. Akselerometer dapat mengukur percepatan dinamis dan statis. Pengukuran percepatan dinamis adalah pengukuran percepatan pada objek yang bergerak, sedangkan pengukuran percepatan statis adalah pengukuran percepatan gravitasi bumi. akselerometer dapat digunakan untuk mengukur sudut kemiringan (*tilt*) [8]. Data yang diperoleh modul sensor akselerometer adalah data mentah percepatan gravitasi yang direpresentasikan dalam *signed integer* 16 bit. Pada perancangan tugas akhir ini, skala penuh yang dipilih adalah 8g artinya data mentas sejumlah 65536 mewakili kecepatan sudut mulai 0g hingga 8g. Sensitifitas modul sensor adalah saat skala penuh adalah 4 mg/digit.

b. Giroskop

Giroskop digunakan untuk mengukur orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut. Giroskop mengukur kecepatan sudut kerangka acuan inersia. Sudut orientasi berupa gerak *roll*, *pitch*, dan *yaw* didapatkan dengan mengintegrasikan kecepatan sudut. Sehingga hasil dari giroskop adalah percepatan sudut. Giroskop berbeda dengan akselerometer dan kompas. Akselerometer mengukur gerakan linier acuan gravitasi. Akselerometer dapat memberikan pengukuran sudut kemiringan (*tilt*). Saat sistem berotasi atau bergerak, akselerometer tidak dapat mengikuti pergerakan yang cepat

dikarenakan responnya lambat dan memiliki noise, sehingga tidak dapat digunakan untuk pengukuran sudut orientasi dalam pergerakan lengan manusia.

Sedangkan kompas mengukur gerakan linier dengan acuan medan magnet bumi. kompas dapat mengukur gerak yaw atau arah mata angin namun tidak dapat mengukur gerak *roll* dan *pitch*.

Keluaran giroskop berupa data kecepatan sudut. Kecepatan sudut adalah besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda terhadap sumbu putarnya. Satuan untuk kecepatan sudut adalah radian per detik.

2.1.5 Kuaternion

Dalam matematika, Kuaternion merupakan perluasan dari bilangan-bilangan kompleks yang tidak komutatif, dan diterapkan dalam mekanika tiga dimensi. Kuaternion ditemukan oleh ahli matematika dan astronomi Inggris, William Rowan Hamilton, yang menurunkan aritmatika kompleks ke kuaternion[7] .

Sebagai himpunan, kuaternion berlabel \mathbf{H} (dinotasikan sesuai orang yang menemukannya Hamilton), sama dengan \mathbf{R}^4 yang merupakan ruang vektor bilangan riil empat dimensi. \mathbf{H} memiliki tiga macam operasi: pertambahan, perkalian skalar dan perkalian kuaternion. Elemen-elemen kuaternion ditandai sebagai $1, i, j$ dan k (i, j dan k adalah komponen imajiner), dan dapat ditulis sebagai kombinasi linear, $a + bi + cj + dk$ (a, b, c , dan d adalah bilangan riil).

Tabel 2. 1 Kuaternion

X	L	I	J	K
L	L	I	J	K
I	I	-1	K	-j
J	J	-k	-1	I
K	K	J	-i	-1

Konsep dari kuaternion adalah membagi sumbu kordinat yang semula 3 dimensi menjadi 4 dimensi. Kuaternion adalah matrik yang terdiri atas vektor dan skalar. Kenapa di sebut kuaternion karena pada dasarnya kuaraternion mempunyai 4 elemen “q”. Terdiri $q_0 - q_3$, dimana q_0 = indikasi dimensi dari arah vector, q_1 = mewakili vektor sumbu x, q_2 =mewakili vektor sumbu y, q_3 = mewakili vektor sumbu z. dapat dilihat pada tabel 2.1 aturan perkalian bilangan kompleks

pada kuaternion.

Keluaran dari perhitungan kuaternion adalah berupa satuan kuaternion[6], yaitu:

$$q = [q_0 q_1 q_2 q_3]^T \quad (2.1)$$

Kuaternion dapat diturunkan menjadi rotasi pada sumbu dengan persamaan berikut ini:

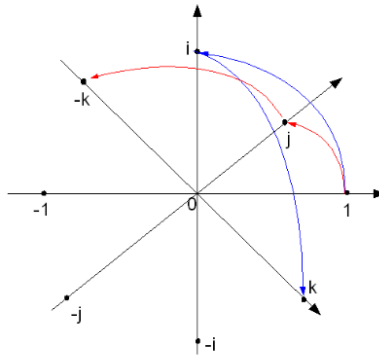
$$q_0 = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.2)$$

$$q_1 = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \cos(\beta_x) \quad (2.3)$$

$$q_2 = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \cos(\beta_y) \quad (2.4)$$

$$q_3 = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \cos(\beta_z) \quad (2.5)$$

Dimana α adalah sudut rotasi sederhana (nilai dalam radian dari sudut rotasi) dan $\cos(\beta_x)$, $\cos(\beta_y)$, dan $\cos(\beta_z)$ adalah “arah cosinus” pada sumbu rotasi (Teorema Euler). Representasi kuaternion dalam ruang 4 dimensi dapat terlihat pada gambar berikut



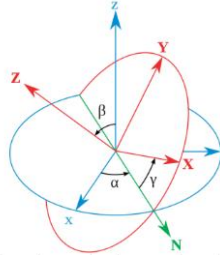
Graphical representation of quaternion units product as 90°-rotation in 4D-space

$$\begin{aligned} ij &= k \\ ji &= -k \\ ij &= -ji \end{aligned}$$

Gambar 2.3 Representasi Kuaternion[8]

2.1.6 Sudut Euler

Sudut Euler merepresentasikan orientasi tiga dimensi dari suatu objek menggunakan kombinasi tiga rotasi sumbu yang berbeda. Informasi orientasi menggunakan sudut Euler lebih sederhana daripada kuaternion. Rotasi sudut Euler pada sumbu x, y, dan z dilambangkan dengan nama *roll* (Φ), *pitch* (θ), dan *yaw* (ψ) seperti terlihat pada gambar.



Gambar 2. 4 Pendekatan kuaternion dengan sudut Euler [9]

Berikut ini adalah persamaan untuk mengkonversi satuan kuaternion menjadi sudut Euler sesuai pendekatan kuaternion dengan sudut Euler [9].

$$q_1^2 + q_2^2 \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} \Phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{matrix} \arcsin(2(q_0q_1 - q_2q_3)) \\ q_2^2 + q_3^2 \\ 2(q_0q_1 + q_2q_3), 1 - 2 \end{matrix}$$

$$\text{atan2} \quad [7]$$

Ada nilai pada saat orientasi sensor tidak dapat direpresentasikan menggunakan sudut Euler. Orientasi tersebut terjadi pada saat posisi *pitch* 90 derajat, sehingga *yaw* dan *roll* menjadi satu sumbu. Kondisi tersebut dinamakan *Gimbal Lock*[10].

Semua orientasi atau AHRS yang menggunakan sudut Euler akan selalu gagal untuk menghasilkan informasi ketika sudut *pitch*

mendekati 90 derajat. Ini adalah masalah mendasar sudut Euler dan hanya dapat diselesaikan dengan beralih ke metode representasi yang berbeda.

2.1.7 Proportional-Integral-Derivative (PID)

Sistem kontrol PID merupakan suatu controller yang berfungsi untuk menentukan kepresisian (kestabilan) suatu system instrumentasi dengan karakteristik umpan balik pada sistem tersebut . Kontroler PID terdiri dari tiga parameter yaitu *proportional* (P), *derivative* (D), *integral* (I). Dalam implementasinya masing-masing parameter dapat bekerja sendiri maupun menggabungkan dari parameter tersebut. Parameter P, I dan D merupakan parameter yang diatur dalam sistem sesuai terhadap input sistem yang diinginkan.

Dasar teoritis untuk menganalisis kinerja kontrol PID adalah mempertimbangkan representasi dari *Integrator* dengan *Transformasi Laplace* (1/S), dan *Differensiator* dengan *Transformasi Laplace* (S). Secara konseptual, kontroler PID memiliki tiga representasi yang berbeda, yaitu Pertama, ada representasi simbolis, dimana masing-masing dari tiga parameter dapat dipilih untuk mencapai tindakan kontrol yang berbeda. Kedua, ada bentuk operator domain waktu. Ketiga, ada *Transformasi Laplace* versi kontroler PID. Hal ini memberikan interpretasi kontrol s- domain dan memungkinkan hubungan antara domain waktu dan domain frekuensi.

Berikut merupakan pola algoritma kontroler PID yang terdiri dari elemen *proportional gain*, *integral gain*, dan *derivative gain*. Dalam pola algoritma kontroler PID juga terdapat *error* yang berfungsi sebagai pengontrolan output saat ini dengan output.

Sebelumnya :

$$PID = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

Diumpamakan $PID = U_n$

$$U_n = K_p e_n + K_i \sum e_n n_i = 0 dt + K_d (e_n - e_{n-1} - 1dt) \quad (2.6)$$

Keterangan (Persamaan PID) :

Dimana variable k_p , k_i , k_d merupakan gain dari parameter proportional, integral, derivative dan $e_n - e_{n-1}$ adalah nilai error saat ini dan sebelumnya. Dalam persamaan algoritma PID diperlukan time sampling (dt) untuk waktu pengambilan data, sehingga output kontroler PID (U_n) dapat diamati per sampling data yang telah

ditentukan. Serta pada algoritma PID terdapat istilah integral yang diartikan sebagai bentuk penjumlahan secara increments, dan differensial yang diartikan sebagai bentuk perbedaan atau selisih[14].

Parameter-Parameter Penyusun Kontroller PID :

- **Proportional**

Pengaruh pada sistem :

1. Menambah atau mengurangi kestabilan.
2. Mengurangi (bukan menghilangkan) Error steady state

Persamaan matematis :

$$U(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.7)$$

Dimana K_p : konstanta proporsional

Dalam laplace

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.8)$$

- **Integral**

Pengaruh pada sistem :

Menghilangkan *Error Steady State* namun dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem). Selain itu kontrol integral memiliki rise time yang lebih lama dibandingkan kontrol proporsional (responnya lebih lama).

Persamaan matematis :

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.9)$$

Dimana K_i : konstanta integral

Dalam laplace :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.10)$$

- **Derivative**

Pengaruh pada sistem :

Memberikan efek redaman pada osilasi. Hal ini juga dapat menyebabkan memberikan nilai K_p yang lebih besar. Selain itu kontrol *Derivative* hanya berubah saat perubahan error, saat ada error statis kontroler ini tidak dapat bereaksi, sehingga kontroler D ini tidak dapat digunakan sendiri tanpa ada kontroler lainnya (biasanya di gabungkan dengan pengendali proporsional). Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan error.

Persamaan matematis :

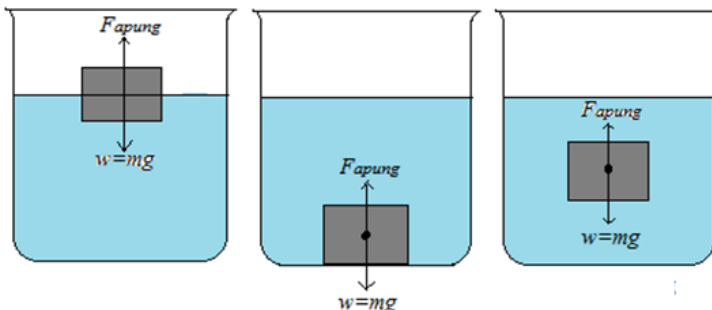
$$D = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

2.1.8 Hukum Archimedes

Hukum Archimedes adalah sebuah hukum mengenai prinsip pengapungan di atas zat cair. Ketika sebuah benda tercelup sepenuhnya di dalam zat cair, maka akan ada gaya ke atas yang ditimbulkan oleh zat cair pada benda yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan. Hukum ini ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama Archimedes seorang astronom, fisikawan, matematikawan dan juga insinyur berkebangsaan Yunani. Gambar 2.2 menunjukkan bagaimana hukum Archimedes bekerja pada saat benda memasuki air.

Berikut ini adalah syarat benda dikatakan mengapung, tenggelam, melayang :

- Mengapung : massa jenis benda harus lebih kecil dari masa jenis zat cair.
- Melayang : massa jenis benda harus sama dengan dari masa zat cair.
- Tenggelam : massa jenis benda harus lebih besar dari massa zat cair.



Gambar 2. 5 Hukum Archimedes

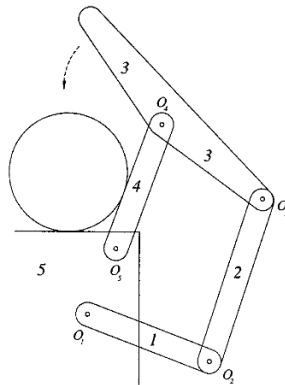
2.1.9 Kinematika Robot

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak tanpa mengindahkan gaya yang menyebabkan gerakan tersebut[4]. Kinematika robot adalah suatu disiplin ilmu yang mengaplikasikan geometri untuk mempelajari gerakan suatu titik yang menyusun struktur sistem robot. Geometri yang dimaksud adalah setiap bagian robot dimodelkan sebagai *rigid bodies* (benda tegar) dan setiap sambungan bagian robot menghasilkan gerakan translasi atau rotasi secara murni. *Rigid bodies* (benda tegar) adalah suatu kesatuan benda secara ideal yang bentuk dan ukurannya tidak berubah ketika mendapatkan suatu gaya tertentu. Setiap robot bagian robot secara teori dianggap sebagai benda tegar, meskipun pada kenyataannya tidaklah sama. Robot kinematics mempelajari hubungan antara dimensi dan setiap sambungan (*joint*) dari beberapa bagian (*link*) kinematika dan posisi, kecepatan dan akselerasi dari setiap bagian robot untuk merencanakan kontrol pergerakan dan menghitung gaya dan torsi aktuator.

Robot terdiri dari link yang dihubungkan oleh joint. Biasanya setiap joint dilengkapi dengan instrument untuk mengukur posisinya relative terhadap posisi link yang diukur. Pada joint yang berputar (*rotary atau revolute*) perpindahan posisi link disebut dengan sudut joint (*joint angles*). Beberapa robot juga terdiri dari sambungan yang bergerak secara translasi atau prismatic. Perpindahan gerakan pada joint yang seperti ini biasanya disebut *joint offset*. Setiap bagian joint akan menghasilkan tingkat kebebasan robot dalam bergerak. Dengan bertambahnya maka bertambah pula gerakan robot. Jumlah yang menunjukkan tingkat keluesan robot biasanya disebut sebagai *Degree of Freedom (Dof)*[5].

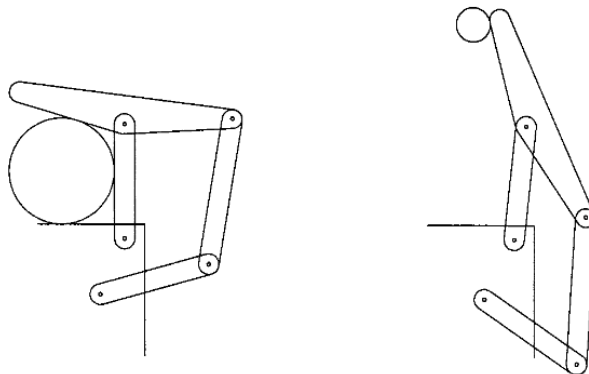
2.1.10 Adaptive Gripper

Gripper berfungsi sebagai pengambil suatu benda yang biasanya diletakkan pada ujung lengan robot. Banyak sekali jenis-jenis gripper yang telah dikembangkan dan memiliki *dof* yang banyak bertujuan untuk meningkatkan ketangkasan dari *gripper* itu sendiri. Namun semakin banyak *dof* maka semakin banyak pula aktuator yang dibutuhkan. Sehingga penggunaan *adaptive gripper* ini dapat mengatasi masalah tersebut, dimana aktuator yang dibutuhkan hanya satu buah saja namun masih mampu menyesuaikan posisi genggamannya terhadap bentuk benda yang akan digenggam[3].



Gambar 2. 6 ilustrasi gripper

Gripper ini memanfaatkan gerakan aktif dari tuas 1 yang mempengaruhi gerakan dari tuas pasif lainnya (2, 3, dan 4). Tuas 4 berfungsi untuk merubah vector gaya dorong yang diberikan oleh tuas 2 pada tuas 3 ketika objek yang digenggam kontak dengan tuas 4. Dan menyebabkan tuas 3 menutup seperti pada gambar diatas. Namun jika benda yang digenggam kecil, maka tidak terjadi kontak pada tuas 4 yang menyebabkan tidak ada gaya tahan dari tuas 4, sehingga gerakan *gripper* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut[3].



Gambar 2. 7 ilustrasi genggaman gripper

Asumsi jumlah dari ruas atau falang dinotasikan dengan huruf n sama dengan jumlah DOF (*degrees of freedom*). Tujuan dari jumlah ruas yang banyak adalah kemampuan untuk menyesuaikan dengan benda yang akan digenggam. Dimana aumsi diatas bertujuan untuk memberikan kontak tiap ruas terhadap objek yang digenggam. Maka dari itu hubungan antara kecepatan dan kecepatan join harus ditetapkan. Dengan menganggap keseluruhan mekanisme dapat ditulis dengan

$$v = J\theta \quad (2.12)$$

Dimana v merupakan vector kecepatan kartesian dan θ adalah vector kecepatan joint. Vector v adalah dari dimensi $6n$, dimana n merupakan jumlah ruas, ditunjukkan pada persamaan berikut

$$v = [v_1^T v_2^T \dots v_n^T]^T \quad (2.13)$$

Dengan

$$v_i = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ p_1 \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

Dimana 6-dimensional vector v_i mewakili perputaran dari ruas ke I , ω_1 adalah vector kecepatan sudut dari ruas ke I dan p_1 adalah vector kecepatan dari titik kontak ruas dengan objek.

$$\theta_a = \begin{bmatrix} \theta_m \\ \theta_p \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Dimana θ_m merupakan vector kecepatan dari ruas yang memiliki aktuator dan θ_p merupakan vector kecepatan dari ruas yang bergerak dengan pasif. $n = b + c$, dimana b adalah jumlah aktuator dan c adalah ruas pasif.

Matrix jacobian dari linkage, didapat dari persamaan (2.12), dapat dituliskan sebagai berikut

$$J_i = \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.13)$$

Dimana matriks J_i merupakan matriks jacobian yang digabungkan dengan rantai kinematic yang terhubung dengan base dari linkage dari ruas. Setiap matriks jacobian tersebut dapat dituliskan sebagai berikut

$$J_i = \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

dengan

$$A_i = [a_{1i} \ a_{2i} \ \dots \ a_{ji}] \quad (2.15)$$

dan

$$\mathbf{B}_i = [\mathbf{b}_{1i} \ \mathbf{b}_{2i} \ \dots \ \mathbf{b}_{ji}] \quad (2.15)$$

dengan

$$j = 1, 2, \dots, q \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.16)$$

Dimana a_{ji} adalah vector satuan yang ditetapkan pada arah dari sumbu joint, a $a_{ji} = 0$ untuk joint prismatic dan untuk joint yang tidak terlibat dalam rantai kinematik yang dimodelkan dengan J_i . Selebihnya, b_{ji} adalah hasil silang dari vector satuan yang telah ditetapkan sepanjang sumbu dari joint dan vector menghubungkan ririk pada sumbu ini menuju titik kontak. Persamaan kecepatan tiap ruas sebagai berikut

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{J}_{ai} \dot{\boldsymbol{\theta}}_a + \mathbf{J}_{di} \dot{\boldsymbol{\theta}}_d, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.16)$$

Untuk setiap kinematik *closed loop* yang terkait dengan kecepatan sebagai berikut

$$\mathbf{K}_{ai} \dot{\boldsymbol{\theta}}_a + \mathbf{K}_{di} \dot{\boldsymbol{\theta}}_d = \mathbf{0} \quad i = 1, \dots, k \quad (2.17)$$

Dimana matriks jacobian K_{ai} dan K_{di} ditetapkan dengan matriks J_{ai} dan J_{di} dan k adalah nomor dari loop dalam rantai kinematic. Yang ditentukan

$$k = q - v + 1 \quad (2.16)$$

Dimana q adalah nomor dari joint dan v adalah nomor penghubung atau link.

Sehingga untuk persamaan semua closed loop sebagai berikut

$$\mathbf{K}_a \dot{\boldsymbol{\theta}}_a + \mathbf{K}_d \dot{\boldsymbol{\theta}}_d = \mathbf{0} \quad (2.18)$$

Dimana,

$$\mathbf{K}_a = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{a1} \\ \mathbf{K}_{a2} \\ \vdots \\ \mathbf{K}_{ak} \end{bmatrix}, \quad \text{and} \quad \mathbf{K}_d = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{d1} \\ \mathbf{K}_{d2} \\ \vdots \\ \mathbf{K}_{dk} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Sehingga memungkinkan pernyataan dari kecepatan joint pasif untuk menjadi fungsi dari joint yang memiliki aktuator, yaitu

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}_d = \mathbf{C} \dot{\boldsymbol{\theta}}_a \quad (2.20)$$

Dimana,

$$\mathbf{C} = -\mathbf{K}_d^{-1} \mathbf{K}_a \quad (2.21)$$

Pada bagian static modelling vector gaya joint didapat

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{f}_p \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

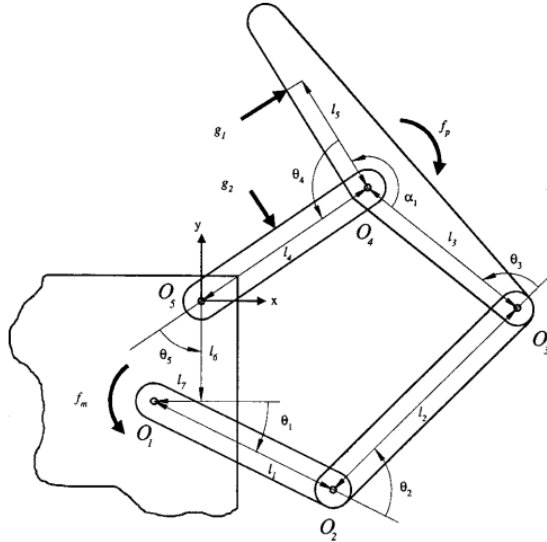
dimana \mathbf{f}_m merupakan vector b-dimensional dari aktuator dan \mathbf{f}_p vector c-dimensi dari gaya pasif. vector \mathbf{t} ditetapkan dari kemana Cartesian terpasang dengan titik kontak pada ruas.

$$\mathbf{t} = [\mathbf{t}_1^T \quad \mathbf{t}_2^T \quad \dots \quad \mathbf{t}_n^T]^T \quad (2.23)$$

Dimana \mathbf{t} adalah 6-dimensional dan \mathbf{t}_i adalah

$$\mathbf{t}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_i \\ \mathbf{g}_i \end{bmatrix} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.24)$$

Dan \mathbf{n}_i dan \mathbf{g}_i adalah masing – masing momen dan gaya vector pada kontak i .



Gambar 2. 9 notasi untuk analisis planar 2 dof

Mekanisme ditunjukkan pada gambar 3.5. gripper memiliki 5 penghubung atau link yang dinotasikan dengan O_1 sampai O_5 . Link 4 merupakan ruas proksimal dan link 3 merupakan ruas distal. Aktuator diletakan pada O_1 . Hanya joint ini yang memiliki aktuator. Pada O_4 diberikan pembatas gerakan sudut dengan memberikan ganjal agar sudut gerakan tetap menghadap kedepan ketika link ditarik. Joint pasif diletakan pada O_2 , O_3 , dan O_5 .

Asumsi ruas yang bersentuhan dengan benda diberi tanda g_1 dan g_2 . α_1 sebesar 120 derajat. Gaya joint adalah f_m , dan torsinya berasal dari aktuator servo dengan spesifikasi 13 kg, dan f_p merupakan torsi yang dibangkitkan dengan pasif yang mengikuti joint, ditunjukkan pada

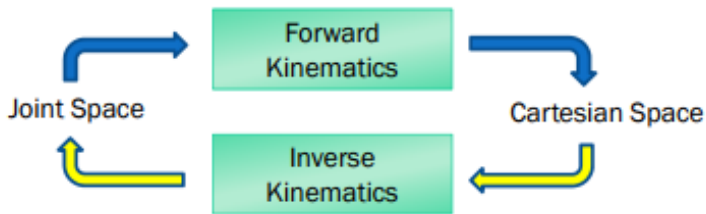
$$f_p = f_{p0} + k_c(\theta_{40} - \theta_4) \quad (2.25)$$

Dimanan θ_{40} merupakan nilai maksimum dari θ_4 yang bergantung pada konfigurasi jari yang secara penuh melawan batas sudut yang telah dipasang. f_{p0} dan k_c adalah inisial torsi dari gaya yang diberikan oleh ganjal atau pembatas sudut.

2.1.11 Kinematika Robot Plannar 2 DoF Manipulator

Kinematika adalah studi tentang gerak tanpa memperhatikan faktor-faktor yang menyebabkan gerak tersebut. Kinematika Robot menghitung hubungan antara posisi joint dan posisi lengan robot dalam koordinat cartesian[22].

Kinematika robot manipulator plannar 2 DoF dibagi menjadi dua analisa yaitu *forward kinematics* dan *inverse kinematics*.



Gambar 2. 8 analisa kinematika robot[22].

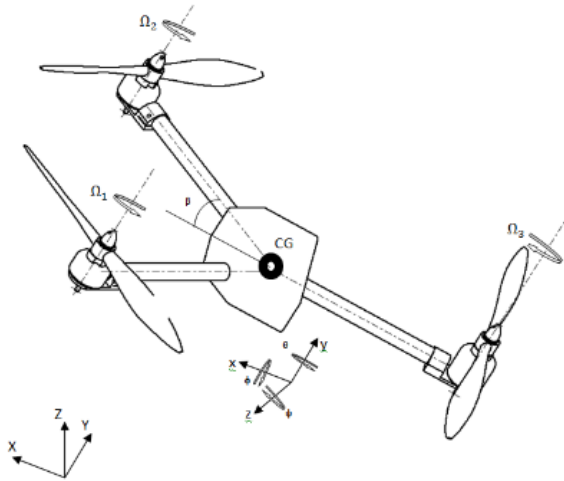
Forward kinematics untuk mengetahui Posisi dan orientasi ujung lengan (end-effector) robot (yang dikenal dengan istilah robot pose) dapat ditentukan berdasarkan posisi sudut-sudut joint dan struktur mekanik robot. Dengan persamaan

$$P_x = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.26)$$

$$P_y = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2.27)$$

2.1.12 Kinematika Gerak Tricopter

Tricopter membutuhkan gaya dorong yang dihasilkan motor ke arah bawah atau melawan gaya gravitasi dengan arah pergerakan geleng yang netral untuk dapat melakukan penerbangan yang stabil.



Gambar 2. 9 Tricopter

Perhitungan resultan gaya dilakukan untuk mengetahui keseluruhan beban yang harus diangkat tricopter dan membandingkan besar beban tersebut dengan kemampuan ketiga motor untuk mengangkat beban. Keseluruhan beban tricopter dapat diketahui dengan melakukan pengukuran massa keseluruhan tricopter dan kemudian melakukan perhitungan untuk mengonversinya

menjadi gaya berat. Menurut Watkinson (2004), perhitungan gaya berat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$W = m \cdot g \quad (2.28)$$

di mana :

W = Gaya Berat (N)

m = Massa benda (Kg)

g = Gravitasi (9,8 m/s²)

Gaya Berat yang dihasilkan dibandingkan dengan kemampuan maksimal motor untuk mengangkat beban

Tricopter menggunakan sistem enam derajat kebebasan (degree of freedom) yang menggambarkan pergerakan tricopter dalam arah linier dan anguler. untuk arah linier, posisi dan pergerakan tricopter dinotasikan dengan x, y, dan z yang menunjukkan posisi tricopter, serta u, v, dan w yang menunjukkan kecepatannya terhadap sumbu x, y, dan z. untuk arah anguler, posisi dan pergerakan tricopter dinotasikan dengan ϕ, θ , dan ψ yang menunjukkan besar sudut, serta p, q, dan r yang menunjukkan kecepatan sudut terhadap sumbu x, y, dan z. arah dan sudut gerakan tricopter dapat dilihat pada gambar 2.8. setiap pergerakan tricopter dipengaruhi oleh perubahan kecepatan rotornya. untuk mengatur ketinggian terbang (altitude), gerakan tricopter didapat dengan menaikkan kecepatan ketiga rotor secara bersamaan. Gerakan roll (berputar terhadap sumbu X) didapat dengan menaikkan kecepatan rotor pada lengan sebelah kanan maupun kiri, gerakan pitch (berputar terhadap sumbu Y) didapat dengan menaikkan kecepatan rotor belakang, sedangkan gerakan yaw (berputar terhadap sumbu Z) didapat dengan mengubah sudut α pada rotor belakang.

persamaan gerak tricopter, notasi ϕ, θ , dan ψ digunakan sebagai sudut Euler [5], yang juga menyatakan sudut rotasi terhadap sumbu X, Y, dan Z secara berturut-turut.

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$R_x = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

$$R_x = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

R_x , R_y , dan R_z merupakan rotasi terhadap sumbu X, Y, dan Z secara berturut-turut. Koordinat dengan sumbu X, Y, dan Z jika dirotasikan dengan sudut ϕ , θ , dan ψ maka menjadi

$$D = R_x R_y R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \phi \\ \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \sin \phi \cos \theta \\ \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Matriks D menjelaskan transformasi dari sistem koordinat Bumi menjadi sistem koordinat rangka tricopter.

Persamaan yang menjelaskan laju perubahan posisi dari tricopter adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} F_x/m \\ F_y/m \\ F_z/m \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

di mana F_x , F_y , dan F_z merupakan gaya eksternal yang bekerja pada TRICOPTER dan dirumuskan pada persamaan (6) berikut:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ b\Omega_1|\Omega_1|\sin \alpha \\ -b(\Omega_1|\Omega_1|\cos \alpha + \Omega_2|\Omega_2| + \Omega_3|\Omega_3|) \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Notasi b menunjukkan konstanta lift coefficient dan α menunjukkan besar sudut yang dibentuk oleh rotor 3. Variabel Ω_1 , Ω_2 , dan Ω_3 menunjukkan kecepatan putaran dari rotor 1, 2, dan 3 berturut-turut.

Hubungan antara variabel posisi x , y , dan z dengan variabel kecepatan u , v , dan w adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

2.1.13 Arduino Nano

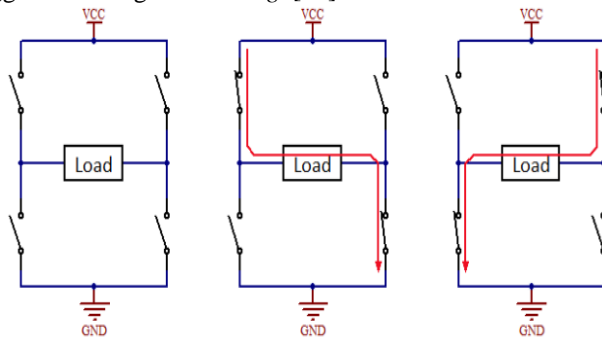
Arduino Nano adalah sebuah *mini board* berbasis mikrokontroler Atmega328. *Arduino UNO* mempunyai 14 pin digital *input/output* (pin 0-13) yang terdiri dari 8 pin *input* analog (pin 0-7) yang biasa digunakan untuk membaca tegangan dari sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai 0 dan 1023, 6 pin *output* analog (pin 3, 5, 6, 9, 10, 11) yang digunakan untuk pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*), sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*. *Arduino NANO* dapat dioperasikan dengan menggunakan *port* USB komputer, USB *charger*, atau adaptor AC-DC dengan tegangan yang direkomendasikan 7-12 Volt[9]. Spesifikasi Arduino Uno dijelaskan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino NANO Atmega 328

Microcontroller	Atmega328
Operating Voltage	5 V
Input Voltage	7-12 V
Digital I/O Pins	14 (6 PWM Outputs)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3 V pin	50 mA
Flash Memory	32 Mbyte (Atmega328)
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	512 byte (Atmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length, Width	4.55 mm x 18 mm
Weight	5 gram

2.1.14 Driver motor

Driver motor adalah modul elektronika untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan mengubah nilai tegangan yang masuk ke motor. PWM digunakan untuk mengatur tegangan yang masuk ke motor dengan jarak duty cycle 0% - 100%. rangkaian *h-bridge* berfungsi untuk merubah atau membalik polaritas tegangan pada motor sehingga arah putaran motor dapat di atur dengan menggunakan rangkain *h-bridge*[13].



Gambar 2. 10 Cara kerja rangkaian H-Bridge

Dengan membalik polaritas seperti yang ditunjukkan gambar diatas maka arah putaran motor dapat berbalik juga[13].

2.1.15 Remote kontrol

Remote kontrol yang digunakan adalah remote kontrol radiolink at9, sinyal output dalam bentuk PPM. Memiliki 8 kanal masing-masing memiliki *range* nilai 1000 sampai 2000 milidetik. Dengan amplitudo sebesar 4 V.



Gambar 2. 11 Radiolink AT9

2.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka bertujuan untuk membandingkan perangkat teknologi yang telah ada dengan perangkat teknologi yang dirancang pada tugas akhir ini. Tinjauan pustaka mencakupi *underwaterROV* dan *arm robot* yang telah ada sebagai berikut :

Serge Montabault, Clément M. Gosselin (2001). *Analysis of Underactuated Mechanical Grippers*. *Gripper* berfungsi sebagai pengambil suatu benda yang biasanya diletakkan pada ujung lengan robot. Banyak sekali jenis-jenis gripper yang telah dikembangkan dan memiliki *dof* yang banyak bertujuan untuk meningkatkan ketangkasan dari *gripper* itu sendiri. Namun semakin banyak *dof* maka semakin banyak pula aktuator yang dibutuhkan. Sehingga penggunaan *adaptive gripper* ini dapat mengatasi masalah tersebut, dimana aktuator yang dibutuhkan hanya satu buah saja namun masih mampu menyesuaikan posisi genggaman terhadap bentuk benda yang akan digenggam. *Gripper* ini memanfaatkan gerakan aktif dari tuas 1 yang mempengaruhi gerakan dari tuas pasif lainnya (2, 3, dan 4). Tuas 4 berfungsi untuk merubah vector gaya dorong yang diberikan oleh tuas 2 pada tuas 3 ketika objek yang digenggam kontak dengan tuas 4. Dan menyebabkan tuas 3 menutup seperti pada gambar diatas. Namun jika benda yang digenggam kecil, maka tidak terjadi kontak pada tuas 4 yang menyebabkan tidak ada gaya tahan dari tuas 4, sehingga gerakan *gripper* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut. Pada tugas akhir ini menggunakan kinematika gripper yang sama namun ditambahkan sudut pada bagian lengan depan yang bertujuan gripper mampu menggenggam parallel.

Belal H. Sababha, Hamzeh m. Al zu'bi, Osamah A. Rawashdeh (2015). *A rotor-tilt-free tricopter TRICOPTER: design, modelling, and stability control*. Tricopter membutuhkan gaya dorong yang dihasilkan motor ke arah bawah atau melawan gaya gravitasi dengan arah pergerakan geleng yang netral untuk dapat melakukan penerbangan yang stabil. Pada penelitian ini terpusat pada pengaruh kecepatan rotasi baling baling pada setiap motor. Dimana dua motor berputar dengan arah yang sama dan satu motor berputar berlawanan arah. Metodologi dari sistem kontrol ini yaitu membandingkan dengan kontrol yang menggunakan tambahan seperti motor yang berlebih atau dengan menggunakan servo tambahan untuk

mengontrol wahana pada sumbu yaw. Dan menghasilkan penerbangan yang stabil dengan mengurangi beberapa mekanik untuk melakukan kontrol efek silang. Pada tugas akhir ini menggunakan sistem mekanik tricopter yang diaplikasikan didalam air.

Safagianjar, Jupri Yanda Zaira, Made Rahmawaty (2015). Perancangan dan Implementasi Gerakan Hover pada Tricopter. Tricopter merupakan salah satu jenis multirotor yang memiliki 3 buah rotor pada ujung-ujung frame. Untuk menggerakkan tricopter, yang harus dilakukan adalah mengatur kecepatan putaran tiap motor. Secara teori tricopter dapat terbang melayang pada satu titik, kegiatan ini dinamakan hover. Untuk menghasilkan gerakan hover pada tricopter, kecepatan motor harus dikendalikan pada daerah kecepatan nominal. Tricopter ini tidak hanya dapat hovering, tetapi juga dapat bergerak sesuai kendali dari operator. Tricopter dikontrol dengan menggunakan remote control sebagai pengirim sinyal gelombang radio secara wireless. Tricopter ini juga menggunakan sensor 3 axis Gyroscope yang berfungsi untuk sensor keseimbangan dan kecepatan. Tricopter dapat terbang selama 10 menit dengan kondisi baterai terisi penuh. Dan faktor angin berpengaruh pada saat take off dan hovering. Pada tugas akhir ini menggunakan desain dasar tricopter namun gerakan yaw tidak menggunakan tilt sebagai gerakan yaw melainkan menambahkan 2 motor. Sensor yang digunakan akselerometer dan giroskop.

Norimitsu Sakagami, Mizuho Shibata, Hideki Hashizume, Shiego Murakami (2010). *Development of a Human Sized ROV with Dual-Arm*. Pengembangan lengan robot seukuran dengan lengan manusia yang diaplikasikan pada ROV. ROV ini dirancang untuk keperluan penelitian biologi, penelitian geologi, eksplorasi arkeologi di danau Biwa, danau terbesar di Jepang. ROV ini memiliki dua karakteristik, Memiliki dua manipulator yang diletakan dalam satu ROV dan sistem kontrolnya. Manipulator memiliki ukuran sebesar lengan manusia sehingga ROV dapat melakukan pekerjaan penyelam manusia yang biasanya beraktivitas menggunakan lengan. Pada bagian sistem kontrol yang diunggulkan ROV ini mampu menjaga wahana ROV pada bidang horizontal yang bertujuan untuk merubah sudut kemiringan robot. Spesifikasi ROV ini memiliki berat 56 Kg (di udara), panjang 1.4 m, lebar 0.7 m, dan tinggi 0.6 m. lengan

manipulator diletakan pada bagian depan wahana. Menggunakan 6 buah motor penggerak (*thruster*). Manipulator memiliki berat 5.5 kg di udara dan 3.6 kg di air. Memiliki 4 DOF dan 1 DOF. Pada tugas akhir ini dengan menambahkan kontrol pada sumbu *pitch* dimana ketika mengambil benda robot akan cenderung berubah posisinya pada sumbu *pitch*.

Ali Zainal Abidin, Ronny Mardiyanto, Djoko Purwanto (2016). *Implementation of PID Controller for Hold Altitude Control in Underwater Remotely Operated Vehicle*, pada penelitian ini dirancang Underwater ROV yang mampu menjaga stabilisasi posisi (*hold position*) pada kedalaman air yang diinginkan secara vertikal sesuai dengan parameter tekanan air dengan menggunakan 2 motor horizontal dan 2 motor vertikal. ROV pada penelitian ini menggunakan pengontrol PID dengan algoritma tuning Ziegler-Nichols agar ROV dapat mempertahankan posisinya pada tingkat kedalaman yang ditentukan. Pada tugas akhir ini menggunakan sistem kontrol PID, namun faktor pembeda dari tugas akhir ini yaitu jumlah motor yang digunakan. Jumlah motor yang digunakan pada tugas akhir ini sebanyak 5 buah. 3 motor digunakan sebagai kinematika tricopter dan 2 motor untuk gerakan horizontal.

Zaenal Husin, Beta Firmansyah, Edy Lazuardi, Abdi Prasetyo, Nilam Nurhasanah (2014). Studi Awal Perancangan Prototipe ROV. Perancangan prototipe Remotely Operated Vehicle (ROV) yang merupakan sebuah wahana tanpa awak dan dimanfaatkan untuk monitoring dan pekerjaan lain di bawah air. Gerakan ROV yang penting antara lain adalah mengapung, menyelam hingga pada dasarnya. Dalam upaya untuk melakukan gerakan tersebut maka diperlukan perhitungan yang mengikuti hukum Archimedes agar ROV tersebut dapat melakukan gerakan dengan baik. Pada prototipe ini didapatkan perhitungan sebesar 942.468 kg/m^3 untuk massa jenisnya dan gaya apung sebesar 40.646676 N . Pada tugas akhir ini selain untuk mendapatkan perhitungan hukum Archimedes juga ditambahkan kontrol kedalaman menggunakan PID untuk menjaga kedalaman yang dikehendaki ketika mendapat gangguan dari luar.

Nima Harsamizadeh Tehrani, Mahdi Heidari, Yadollah Zakeri, Jafar Ghaisari (2010). *Development, Depth Control and Stability Analysis of an Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV)*, pada makalah ini menjelaskan perancangan, analisis stabilitas dan masalah pengendalian kedalaman. ROV dari tim robotika bawah laut Universitas Teknologi Isfahan. ROV memiliki ukuran kecil yang memiliki enam pendorong dan satu lengan manipulator. ROV ini memiliki skema kontrol otomatis yang mengontrol kinerja gerak dan posisi kedalaman. Skema kontrol pada ROV ini menggunakan teknik PID untuk *Auto depth Control* dan persamaan untuk stabilitas Roll & Pitch. Pada tugas akhir ini menggunakan kontrol kedalaman, pitch, roll, dan yaw yang digunakan sebagai sistem stabilizer.

SeaBotix, Inc. Product Literature (15April 2006) . LBV Grabber. ROV yang dikembangkan oleh SeaBotix mengutamakan kenyamanan pengguna dan kecepatan dalam persiapan. LBV150-4 dilengkapi dengan sensor kedalaman dan *heading*. ROV ini juga memiliki lengan untuk mengambil suatu benda. Dengan menggunakan empat buah motor yang memungkinkan ROV bergerak pada empat aksis. Namun robot ini memiliki kelemahan pada saat mengangkat beban, terjadi kemiringan sesuai dengan berat beban yang disebabkan karena tidak ada motor untuk mengontrol gerakan *pitch*. Pada tugas akhir ini kontrol pitch menggunakan IMU dan kontrol kedalaman guna menghindari gangguan dari luar yang menyebabkan robot tidak setabil.



Gambar 2. 12 LBV150-4

Marcus frei (2013). *Two Finger Adaptive Gripper*. Gripper ini merupakan pengembangan yang dilakukan oleh tim robotiq yang bertujuan untuk keperluan industri. Keunggulan yang dimiliki adalah jumlah dari aktuator lebih sedikit daripada jumlah *dof*. Sehingga sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan aktuator pada setiap *dof*-nya. Dengan memanfaatkan gerakan pasif menyebabkan robot ini memiliki keunggulan dimana genggam robot dapat menyesuaikan bentuk objek yang akan digenggam dengan meminimalisasi jumlah aktuator.

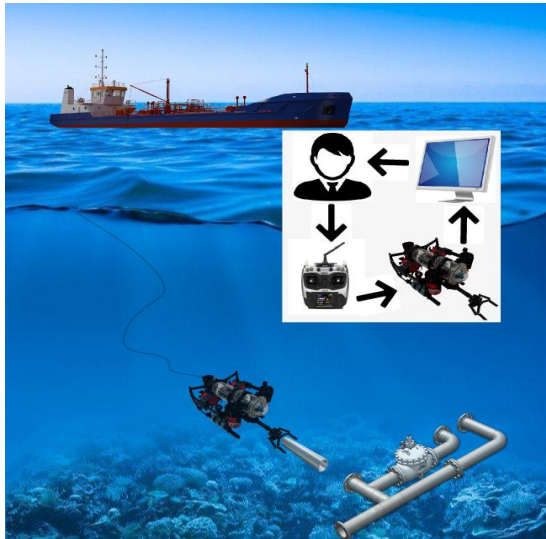
Chanin Joochim, Rattanakorn Phadungthin, Sawangtit Srikit suwan (2015). *Design and Development of a Remotely Operated Underwater Vehicle*, pada makalah ini menyajikan desain dan pengembangan kapal selam model *Remotely Operated Underwater Vehicle* (ROV) berukuran kecil dengan tujuan untuk mengeksplorasi di bawah air sebagai pengganti manusia untuk mengeksplorasi bawah air daerah yang sulit dijangkau dan berbahaya. ROV ini dilengkapi dengan sensor probe bawah air yang kuat untuk mengumpulkan data bawah air, motor sikat dc untuk mengendalikan arah serta pemantauan kamera real time. Pada ROV ini memiliki sensor IMU sebagai sistem kontrol kemiringan untuk mencapai stabilitas *pitch* secara otomatis dan melakukan pengamatan di bawah air melalui kamera video dimana kontrol gelombang dikendalikan oleh mekanisme kontrol joystick. Pada tugas akhir ini ditambahkan sensor kedalaman sebagai kontrol untuk menjaga kedalaman ketika terjadi gangguan dari luar yang menyebabkan kedalaman tidak stabil. Dan juga penambahan lengan robot yang digunakan untuk mengambil suatu objek.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

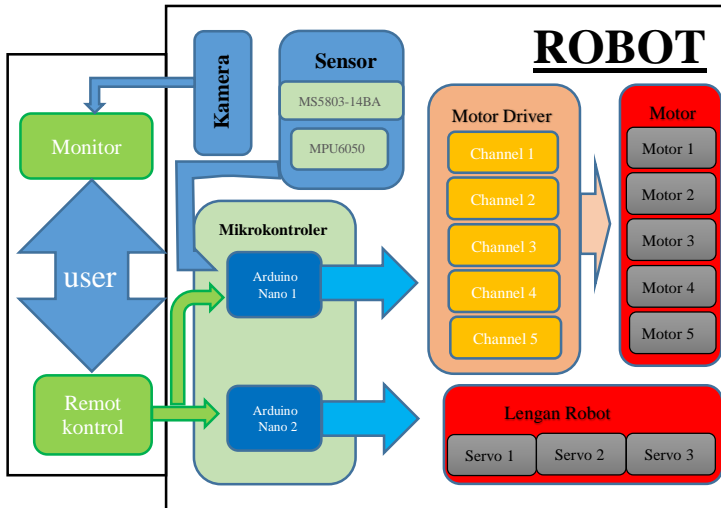
PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan perancangan sistem mulai dari perancangan perangkat keras hingga perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi perancangan mekanik dan perancangan komponen elektronik. Perancangan mekanik terdiri dari pembuatan mekanisme gerak robot dan mekanisme pergerakan lengan robot. Perancangan komponen elektronik antara lain memadukan sensor dengan mikrokontroler, pembuatan driver motor, memadukan sinyal remote kontrol dengan mikrokontoller. Perancangan perangkat lunak meliputi proses akuisisi data remot kontrol, sensor tekanan dan sensor IMU, perancangan algoritma *stabilizer*, perancangan algoritma *inverse kinematic* pada lengan robot, dan algoritma mensinkronisasi remot kontrol terhadap seluruh gerak robot.



Gambar 3. 1 Ilustrasi sistem

3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 2 Diagram blok rancangan sistem

Pada bagian pengolahan data. Sensor tekanan dan sensor IMU menggunakan komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*), sensor tekanan diletakkan diluar tabung utama untuk mengukur tekanan air dan sensor IMU diletakkan didalam tabung utama robot. Informasi yang dihasilkan sensor IMU berupa besaran sudut *roll*, sudut *pitch*, dan sudut *yaw*. Dengan didapatkannya nilai sudut dari masing-masing axis digunakan sebagai *feedback* dari sistem *stabilizer*.

Mekanisme sistem *stabilizer* ini menggunakan metode pid. Kalibrasi kemiringan robot dilakukan untuk mengambil nilai-nilai sudut dari IMU ketika posisi robot datar yang kemudian disimpan didalam eeprom. Data yang disimpan dalam eeprom akan digunakan sebagai nilai *setpoint* pid. Sehingga robot dapat mengetahui terjadinya kemiringan. Kemudian keluaran dari pid tersebut akan dikonversikan menjadi nilai pwm untuk mengatur kecepatan putaran motor.

Mekanisme kontrol kedalaman dengan menggunakan *feedback* dari sensor *piezo-resistive* untuk mengetahui gaya tekan. Ketika robot masuk kedalam air, sensor tekanan ini akan mengukur nilai tekanan air, perubahan nilai tekanan ini diproses dengan metode pid. Nilai setpoint ditentukan menggunakan remot kontrol. Keluaran dari pid dikonversi menjadi nilai pwm untuk mengatur kecepatan nilai putaran motor. Seluruh nilai pwm yang dihasilkan dari masing masing pid akan dijumlahkan dengan nilai remot kontrol sebelum dilanjutkan ke *motor driver*.

Lengan robot dikendalikan dengan remot kontrol. Gerakan lengan robot menggunakan metode *invese kinematic*. Nilai posisi ujung lengan didapat dari nilai remot kontrol.

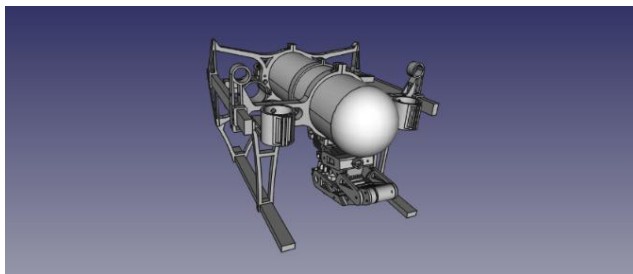
Sistem pengiriman data menggunakan media kabel dengan menghubungkan unit pengolahan yang terletak pada robot dengan remot kontrol.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras pada tugas akhir ini antara lain, desain mekanik dan elektronik. Desain mekanik meliputi desain badan utama dan lengan robot. Desain elektronik pada perangkat driver motor, dan peletakan sensor IMU dan tekanan.

3.2.1 Desain Robot

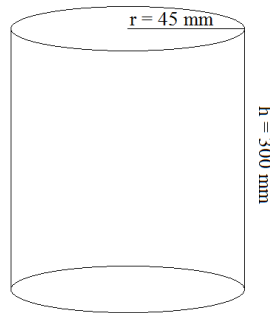
Robot didesain dengan *software* freecad, yang kemudian direalisasikan menggunakan printer 3D. berikut gambar desain robot.



Gambar 3. 3 Desain robot pada software *freecad*

Dimensi robot = 66 cm x 33 cm x 25 cm, berat = 3500 gr. Robot dilengkapi dengan lima buah motor masing masing dilengkapi dengan propeller, tiga motor pada sumbu vertikal dan dua motor pada sumbu horizontal, sehingga robot dapat bergerak maju, mundur, naik, turun, dan belok kanan - kiri.

Ukuran tabung yang digunakan seperti pada gambar 3.3. Tabung menggunakan bahan acrylic dengan ketebalan 5 mm. sehingga volume tabung sebagai berikut



Gambar 3. 4 Dimensi Tabung

$$v_{tabung} = (\pi \cdot r^2) \cdot h \quad (3.1)$$

Didapatkan volume tabung = 1907.55 cm³

Dengan menggunakan hukum Archimedes dapat ditentukan gaya yang terjadi dari wahana ketika dimasukan kedalam air. Akibat adanya gaya apung, berat benda dalam zat cair akan berkurang. Benda yang diangkat dalam zat cair akan terasa lebih ringan dibandingkan diangkat di darat. Jadi, telah jelas bahwa berat benda seakan berkurang bila benda dimasukkan ke dalam air. Hal itu karena adanya gaya ke atas yang ditimbulkan oleh air dan diterima benda. Dengan demikian maka resultan gaya antara gaya berat dengan gaya ke atas merupakan berat benda dalam air. Selanjutnya berat disebut dengan berat semu yaitu berat benda tidak sebenarnya karena benda berada dalam zat cair. Benda dalam air diberi simbol W_s . Hubungan antara berat benda di udara (W), gaya ke atas (F_a) dan berat semu (W_s) adalah

$$W_s = W - F_a \quad (3.2)$$

Dengan

W_s = berat benda dalam zat cair

$W = 3500 \text{ gram m/s}^2 = 35 \text{ gram cm/s}^2$

F_a = gaya apung (N)

Dimana gaya apung (F_a) dengan asumsi gaya angkat diberikan oleh tabung acrylic yang didalamnya merupakan udara. Dengan volume udara sama dengan volume tabung yaitu sebesar 1970.55 cm^3 . Kemudian besarnya gaya apung (F_a) udara pada tabung didapat dari perhitungan berikut

$$F_a = \rho_{\text{cair}} V_b g \quad (3.3)$$

Untuk mendapatkan kondisi seimbang maka

$$\rho_b \cdot V_b \cdot g > \rho_{zc} \cdot V_b \cdot g \quad (3.4)$$

Dengan

$\rho_b = 0.0012 \text{ g/cm}^3 (\rho_{\text{udara}})$

$\rho_{\text{air tawar}} = 1 \text{ g/cm}^3 (\rho_{zc})$

$\rho_{\text{air laut}} = 1.03 \text{ g/cm}^3 (\rho_{zc})$

$V_b = 1970.55 \text{ cm}^3$

$g = 980 \text{ cm/s}^2$

$F_a \text{ udara} = 18.69 \text{ N}$

Sehingga

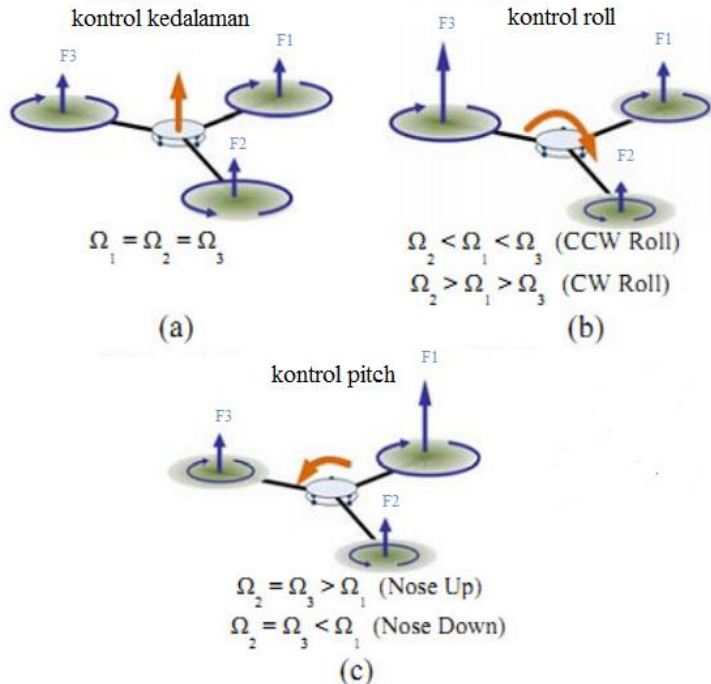
$W_s = W_x + 34.3 \text{ N} - 18.69 \text{ N}$

Dimana W_x = berat variable yang belum terhitung dikarenakan bentuk yang rumit. Dengan mengukur gaya dorong keatas wahana ketika di air dengan menggunakan timbangan didapat gaya dorong sebesar $W_s = 0.015 \text{ N}$. sehingga dengan menggunakan persamaan 3.2 didapat nilai berat W_x didapat sebesar 15.6 N

Gaya yang dibutuhkan motor untuk mendorong kedalam air harus lebih besar dari 0.015 N .

3.2.2 Pergerakan Robot

Gerakan yang dapat dilakukan dari tricopter ini adalah gerakan roll (berputar terhadap sumbu X) dan pitch (berputar terhadap sumbu Y)



Gambar 3. 5 perubahan putaran motor terhadap gerakan robot

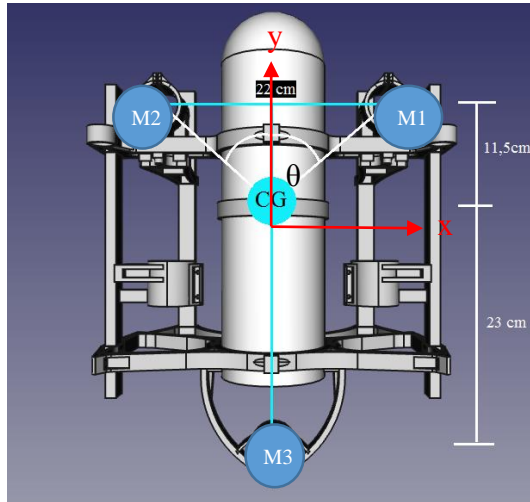
Ω merupakan kecepatan putaran motor yang menyebabkan gaya berubah-ubah. Semakin tinggi putaran motor maka semakin besar pula gaya yang diberikan oleh motor. Sedangkan untuk sumbu yaw menggunakan sistem diferensial steering dimana menggunakan 2 buah motor yang diletakkan pada sumbu x dan y.

ROV menggunakan sistem enam derajat kebebasan (degree of freedom) yang menggambarkan pergerakan ROV dalam arah linier dan angular. Untuk arah linier, posisi dan pergerakan dinotasikan dengan x, y, dan z yang menunjukkan posisi robot, serta u, v, dan w yang menunjukkan kecepatannya terhadap sumbu X, Y, dan Z. Untuk

arah angular, posisi dan pergerakan dinotasikan dengan ϕ, θ , dan ψ yang menunjukkan besar sudut, serta p, q , dan r yang menunjukkan kecepatan sudut terhadap sumbu X, Y, dan Z.

3.2.3 Gaya Motor Terhadap CG Robot

Pergerakan robot dikarenakan adanya gaya dorong yang diberikan oleh motor. Gaya yang diberikan oleh setiap motor terhadap CoG memiliki resultan gaya yang berbeda beda.



Gambar 3. 6 Ilustrasi terhadap sumbu x y

Dari perancangan ini akan ditentukan desain robot dengan menggunakan persamaan momen gaya terhadap sumbu x, y, dan z. gaya motor yang diberikan terhadap sumbu x akan memberikan efek gerakan roll dengan menggunakan. Besar $\theta = 50$

$$\tau = r F \sin \theta \quad (3.5)$$

Dimana

τ = momen gaya terhadap sumbu y

$r = 0.11 \text{ m}$

$F = 0.616 \text{ N}$ (gaya dorong motor)

$\sin \theta = 1$

Sehingga didapatkan nilai momen gaya m1 terhadap sumbu y adalah 0.067 Nm dan momen gaya m2 sebesar 0.067 Nm. Untuk m3 tidak memiliki momen gaya terhadap sumbu y karena nilai $r = 0$.

Untuk momen gaya terhadap sumbu x (pitch) dengan menggunakan persamaan (3.5) maka nilai momen gaya m1 dan m2 didapat dari

$$\begin{aligned}\tau_{1x} &= 0.11 \times 0.616 \sin 90 \\ \tau_{1x} &= 0.067 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Untuk m2

$$\tau_{2x} = 0.067 \text{ Nm}$$

Sehingga $\tau_{12} = 0.134 \text{ Nm}$

Untuk m3 memiliki $r = 22 \text{ cm}$

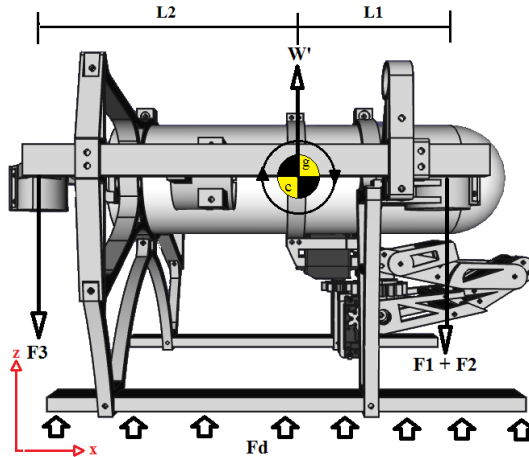
$$\begin{aligned}\tau_{3x} &= 0.22 \times 0.616 \sin 90 \\ \tau_{1x} &= 0.141\end{aligned}$$

Nilai momen gaya pitch lebih besar karenaantisipasi ketika lengan robot terbebani.

3.2.4 Pergerakan Robot

Pergerakan robot terjadi karena pengeruh gaya – gaya yang terjadi pada robot.

Pergerakan pada sumbu z yaitu pergerakan naik turun yang menyebabkan bertambah atau berkurangnya tingkat kedalaman robot yang dipengaruhi oleh beberapa gaya yang ditunjukkan pada gambar berikut












Gambar 3. 7 Gaya yang terjadi ketika bergerak naik atau turun

Pada gambar 3.5 merupakan gambaran gaya yang terjadi pada robot ketika robot bergerak naik atau turun. Dimana F_1 adalah gaya yang disebabkan oleh motor 1. F_2 adalah gaya yang disebabkan oleh motor 2. F_3 adalah gaya yang disebabkan oleh motor 3. F_d adalah gaya yang disebabkan oleh hambatan air. W' adalah gaya yang disebabkan oleh berat semu robot dalam air. Dimana

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \quad (3.5)$$

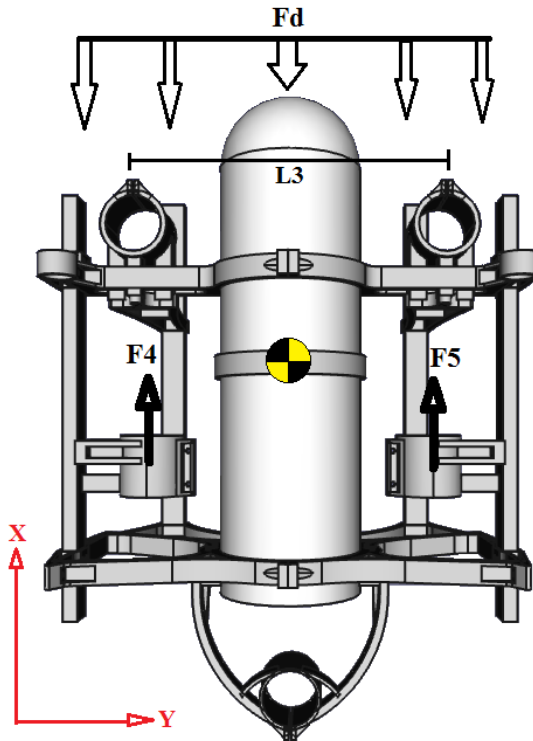
Dimana C_d adalah koefisien *drag* air. ρ adalah massa jenis air. A adalah luas penampang yang tegak lurus dengan sumbu z . v^2 adalah kecepatan robot. Sehingga didapatkan persamaan gaya

$$F_1 + F_2 + F_3 = W' + F_d + m \ddot{z} \quad (3.6)$$

Bentuk		Drag Coefficient
Sphere	→ 	0.47
Half-sphere	→ 	0.42
Cone	→ 	0.50
Cube	→ 	1.05
Angled Cube	→ 	0.80
Long Cylinder	→ 	0.82
Short Cylinder	→ 	1.15
Streamlined Body	→ 	0.04
Streamlined Half-body	→ 	0.09

Gambar 3. 8 koefisien hambatan

Dengan luas permukaan bagian depan tabung 0.0127 m^2 , dengan C_d 0.42 maka didapat $F_d = 0.00267057 * v^2$ Hambatan pada bagian motor berbentuk tabung dengan luas 0.0094 m^2 , dengan C_d 0.82 maka $F_d = 0.0077 * 2 * v^2$. Gerakan pitch Dengan luas permukaan tabung 0.47 m^2 . Dengan C_d 0.82 maka $F_d = 0.019 * v^2$



Gambar 3. 9 ilustrasi gaya yang terjadi pada robot

Pergerakan pada sumbu x yaitu pergerakan maju, mundur, dan berbelok yang menyebabkan robot bergerak karena dipengaruhi oleh beberapa gaya yang ditunjukkan pada gambar 3.6

Pada gambar 3.6 merupakan gambaran gaya yang terjadi pada robot ketika robot bergerak maju. Dimana F4 adalah gaya yang disebabkan oleh motor sebelah kiri. F5 adalah gaya yang disebabkan oleh motor sebelah kanan. Fd adalah gaya yang disebabkan oleh hambatan air. Sehingga didapatkan persamaan gaya

$$F4 + F5 = Fd + m \ddot{x} \quad (3.6)$$

dimana F yang diberikan oleh motor merupakan torsi yang diberikan oleh propeller. Yang didapat dari persamaan

$$\tau_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 = \frac{1}{2} C_d \rho A (\omega R)^2 \quad (3.7)$$

Dengan ω kecepatan angular dari propeller dan R adalah jarak pusat propeller dengan ujung propeller atau jari-jari propeller. Dan dapat disederhanakan menjadi

$$\tau_d = b \omega^2 \quad (3.8)$$

b merupakan koefisien drag propeller. Sehingga gaya yang ditimbulkan motor kepada robot terhadap sumbu z seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut

$$\tau_z = b \omega^2 + I m \dot{\omega} \quad (3.9)$$

Dimana Im merupakan momen inersia dari motor dan $\dot{\omega}$ percepatan angular propeller.

Dalam kondisi steady state atau posisi robot tidak sedang naik atau turun melainkan mempertahankan posisi kedalamannya dimana kecepatan putaran tiap motor adalah konstan. Sehingga didapatkan persamaan untuk pergerakan yaw yang ditimbulkan oleh propeller sebagai berikut

$$\tau_\varphi = b(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2) \quad (3.10)$$

Bernilai positif untuk ω *clockwise* dan negative sebaliknya. Sedangkan untuk rotasi roll seperti pada persamaan berikut

$$\tau_\theta = Lk(\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad (3.11)$$

Dimana L merupakan panjang jarak pusat propeller dengan pusat rotasi pada sumbu x. dan untuk pitch sebagai berikut

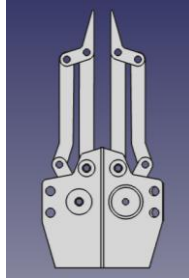
$$\tau_\theta = Lk(\omega_1^2 + \omega_2^2) - 2Lk(\omega_3^2) \quad (3.12)$$

Karena gerakan pitch dipengaruhi oleh 3 buah motor dimana dua motor didepan dan satu motor dibelakang. Sehingga τ_B atau *thrust* yang diberikan oleh ketiga motor dapat ditulis sebagai berikut

$$\tau_B = \begin{bmatrix} Lk(\omega_1^2 - \omega_2^2) \\ Lk(\omega_1^2 + \omega_2^2) - 2Lk(\omega_3^2) \\ b(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2) \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

3.2.5 Lengan Robot

Lengan robot yang digunakan memiliki satu *joint* dan *gripper* dua jari. Gerakan lengan naik, turun ,dan rotasi untuk memutar orientasi *gripper*. Aktuator yang digunakan adalah tiga buah motor servo. Jangkauan lengan mencapai 25 cm dari pusat *joint*.

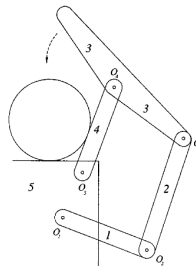


Gambar 3. 10 Desain gripper menggunakan freecad

Gripper yang digunakan adalah *adaptive gripper* yang mampu menyesuaikan bentuk benda yang akan diambil.

O_1 merupakan joint yang dikopel langsung dengan servo. O_2 hingga O_5 merupakan joint pasif. Pada Dengan menggunakan konsep 2 dof planar, *gripper* memiliki empat buah lengan yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Motor servo dikopel dengan lengan 1, dan lengan 1 akan mendorong atau menarik lengan 2, begitu juga lengan 3. Ketika lengan 4 tertahan oleh suatu benda maka akan terjadi gaya dorong keluar yang menyebabkan lengan 2 mendorong lengan 3 keatas, sehingga ujung lengan tiga akan menutup seperti ditunjukkan pada gambar

Pada lengan *joint* antara servo 1 dan lengan robot terdapat roda gigi dengan perbandingan 6:10 (6 pada servo 1 dan 10 pada lengan robot). Adanya roda gigi dengan perbandingan semakin besar tersebut mampu mengurangi beban yang dipikul oleh servo. Sedangkan pada bagian pemutar gripper agar merubah orientasi pada servo 2 dikopel langsung dengan gripper, sehingga kemampuan rotasi sebesar 180 derajat.



Gambar 3. 11 Ilustrasi gripper

Objek yang akan dituju dalam peran multifungsi antara lain kail yang terikat dengan tali yang akan dipasangkan pada objek yang akan diangkat menggunakan katrol oleh kapal besar. Spesifikasi kail yang biasa digunakan sebagai berikut.

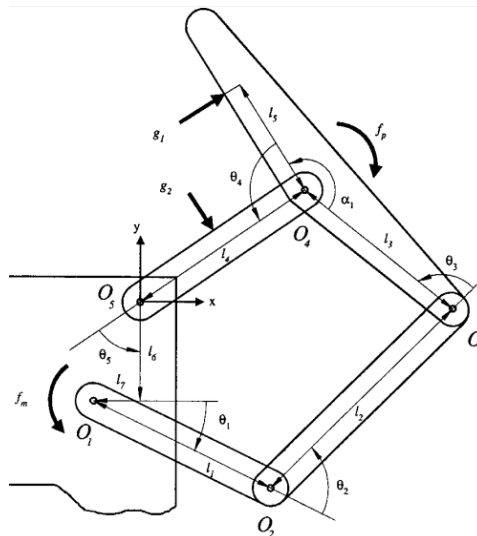
Tabel 3. 1 Ukuran diameter tali plastic yang biasa digunakan

Diameter(mm)	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36
--------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabel 3. 2 Ukuran diameter tali yang biasa digunakan pada kapal

Dia (mm)	14	16	20	24	32	36	40	56	64	72	80
----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Dengan data ukuran diameter tali yang biasa digunakan dapat disimpulkan bahwa objek yang akan digenggam oleh gripper mulai dari 6 mm hingga 80 mm. sehingga gripper dirancang untuk mampu menggenggam benda tersebut.



Gambar 3. 12 notasi gripper

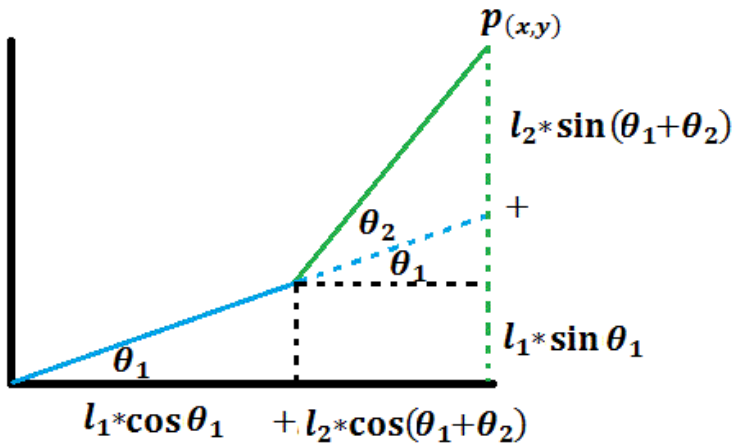
Tabel 3. 3 Panjang lengan *gripper*

Lengan	Panjang (mm)
l_1	40
l_2	50
l_3	10
l_4	55
l_5	45

Tabel 3. 4 nilai maksimum sudut tiap joint

notasi	Sudut jangkauan (derajat)
α_1	120 (<i>fixed</i>)
θ_1	0 – 60
θ_2	80 – 110
θ_3	90 – 135
θ_4	120 – 175
θ_5	0 – 60

Untuk mengetahui jangkauan ujung gripper maka menggunakan analisa forward kinematic 2-DOF dengan menggunakan sudut theta maksimum yang dapat dilakukan

**Gambar 3. 13** Notasi untuk plannar 2 DOF

Tabel 3. 5 Jangkauan sudut pada analisa 2 DOF

notasi	Sudut jangkauan (derajat)
θ_1	25 – 85
θ_2	0 – 65

Untuk posisi pada gambar (a) menggunakan perhitungan

$$x = 55 \cos(25) + 45 \cos(65)$$

$$x = 49.85 + 19.01$$

$$x = \underline{68.86}$$

didapatkan nilai x maksimum adalah 68.86 mm, sehingga lebar gripper ketika terbuka dengan lebar 137.73 mm.

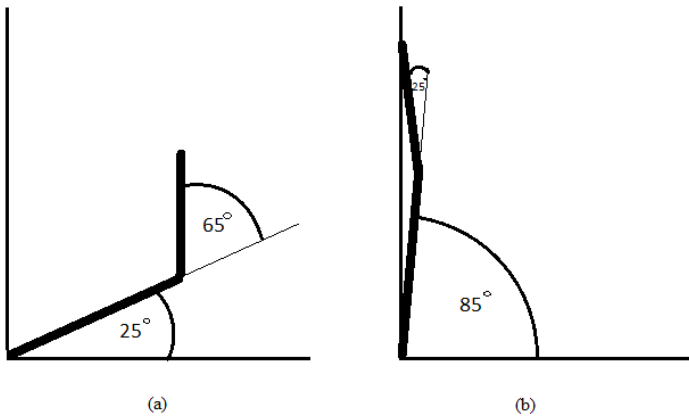
untuk posisi pada gambar (b) digunakan untuk mengetahui jangkauan pada sumbu y dengan perhitungan

$$y = 55 \sin(85) + 45 \sin(25)$$

$$y = 54.79 + 19.01$$

$$y = \underline{73.80}$$

didapatkan nilai y maksimum adalah 73.86 mm, sehingga panjang jangkauan ujung gripper terjau adalah 73.80 mm.

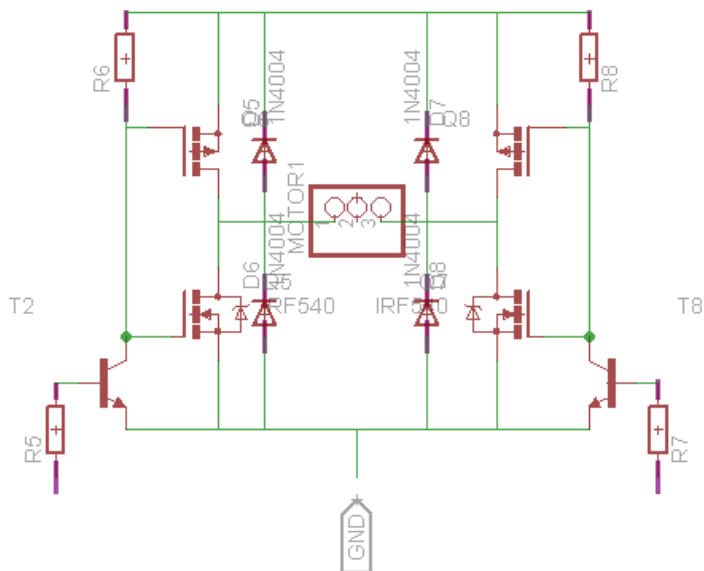


Gambar 3. 14 (a)Ilustrasi gripper terbuka (b)ilustrasi gripper tertutup

3.2.6 Driver motor

H-bridge merupakan rangkaian yang memiliki susunan transistornya membentuk huruf H. Transistor ini digunakan sebagai *switching* sehingga nantinya motor dapat berputar searah jarum jam (*clockwise*) dan berlawanan arah jarum jam (*counter clockwise*). Adapun type transistor yang banyak digunakan dalam rangkaian H-bridge adalah type MOSFET. Pada tugas akhir ini menggunakan rangkaian h-bridge untuk mengendalikan 5 buah motor

Driver motor memiliki lima kanal dan mampu membalik polaritas guna membalik arah putaran motor. Berdasarkan kebutuhan pergerakan ROV naik, turun, maju, mundur, belok kanan dan kiri maka motor harus mampu berputar berbalik arah, sehingga rangkaian h-bridge digunakan sebagai pembalik polaritas ketika melakukan *reverse direction*. PWM digunakan untuk mengatur tegangan dan arus yang masuk kedalam motor.



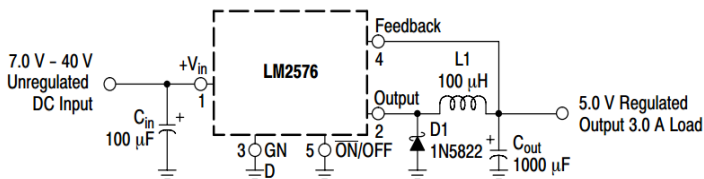
Gambar 3. 15 H bridge

Arus maksimal driver ini sebesar 19 A dan tegangan masukan sebesar 20 volt. Berikut rangkaian h bridge.

3.2.7 Rangkaian Suplai Daya

Suplai daya adalah perangkat elektronika yang mensuplai sumber listrik ke perangkat elektronika lainnya. Dalam suatu rangkaian suplai daya terdapat sebuah regulator tegangan dimana digunakan untuk menurunkan tegangan dari satu level tertentu ke level yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini menggunakan dua buah regulator tegangan berupa buck-converter yang mampu meregulasi tegangan input dari rentang 20 volt menjadi nol sampai 20 volt, tegangan output yang digunakan adalah 5 volt dan 6 volt. Tegangan 5 volt digunakan untuk mensuplai daya pada mikrokontroler. Tegangan 6 volt digunakan untuk mensuplai motor servo yang terletak pada lengan robot. Besar arus maksimal yang dapat disuplai sebesar 3 A.

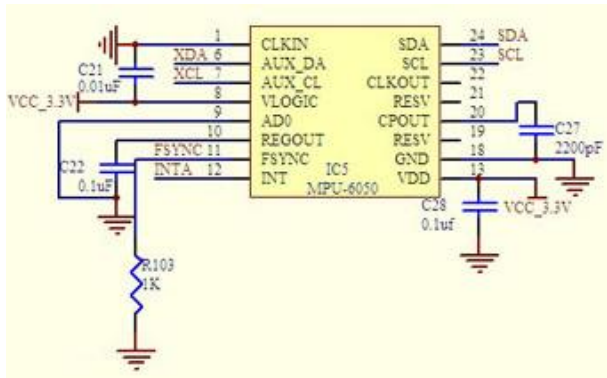
Pada gambar 3.3 kapasitor berfungsi sebagai pengaman pada tegangan input maupun pada output agar tegangan yang akan masuk maupun yang akan dikeluarkan tidak terinterferensi oleh noise akibat adanya loncatan arus. Untuk mendapatkan keluaran tegangan yang diinginkan menggunakan perbandingan besar R yang berbeda-beda.



Gambar 3. 16 Rangkaian regulator tegangan 5-6V

3.2.8 Sensor IMU

Inertial Measurement Unit (IMU) adalah sebuah sensor yang menggabungkan sensor giroskop dan akselerometer dalam sebuah devais. Sensor IMU yang digunakan pada tugas akhir ini adalah 6 DoF IMU yang terdiri dari sebuah sensor IMU MPU 6050. Tegangan kerja sensor berada pada rentang 3,3 - 5V.



3.2.9 Sensor Tekanan

Pada tugas akhir ini, sensor tekanan yang akan digunakan adalah sensor buatan *sparkfun* dengan tipe MS5803-14BA. Sensor ini mampu mengukur tekanan dari 0 milibar hingga 14.000 milibar. Sensor ini memerlukan penutup guna menghindari kerusakan sensor ketika digunakan untuk mengukur tekanan air. Dengan telah diketahuinya *feedback* nilai posisi robot terhadap kedalaman air, nilai tersebut dijadikan acuan untuk pergerakan naik, turun, dan mempertahankan posisi kedalaman (*Depth-hold*). Data nilai minimum dan maximum disinkronkan dengan pergerakan naik dan turun dengan kontroler proporsional..

3.2.10 Arduino Nano

Arduino Nano memiliki dimensi papan sebesar 1.8 cm x 4.3 cm. dengan dimensi yang kecil sangat menguntungkan, karena mini ROV ini memiliki ruangan kedap air yang cukup kecil, sehingga arduino nano cukup cocok untuk digunakan sebagai mikrokontroler. Namun dengan jumlah pin yang dibutuhkan sebanyak 8 pin PWM dan 8 pin sehingga memerlukan 2 papan arduino nano untuk mengontrol motor dan motor servo.

Pada tugas akhir ini arduino nano sebagai pemroses data sensor dan remot kontrol kemudian mengkonversi data-data tersebut menjadi nilai pergerakan adalah Arduino Nano. Arduino Nano adalah sebuah *mini board* berbasis mikrokontroler Atmega328. Arduino

Nano mempunyai 14 pin digital *input/output* (pin 0-13) yang terdiri dari 8 pin *input* analog (pin 0-7) yang biasa digunakan untuk membaca tegangan dari sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai 0 dan 1023, 6 pin *output* analog (pin 3, 5, 6, 9, 10, 11) yang digunakan untuk pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*), sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino NANO dapat dioperasikan dengan menggunakan *port* USB komputer, USB *charger*, atau adaptor AC-DC dengan tegangan yang direkomendasikan 7-12 Volt. Pada tugas akhir ini digunakan 2 buah arduino, satu untuk motor kontrol dan lainnya untuk kontrol lengan robot.

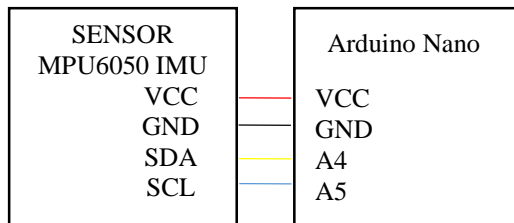
Sensor IMU dan sensor tekanan menggunakan komunikasi I2C yang terpasang secara parallel dengan alamat yang berbeda. 0x76 untuk sensor tekanan dan 0x68 untuk sensor IMU. Untuk pembacaan data PPM remote kontrol menggunakan pin digital. Output yang digunakan untuk mengontrol gerakan motor 5 pin PWM dan 5 pin digital. Output yang digunakan untuk mengontrol gerak lengan 3 pin digital. Sehingga jumlah pin yang diperlukan adalah

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada tahap ini, algoritma pemrograman dirancang untuk melakukan beberapa proses yang dibagi menjadi lima bagian utama.

3.3.1 Remote kontrol

Data remote kontrol dimuat dalam bentuk sinyal PPM dengan 8 kanal. PPM terdapat sebelas pulsa dalam satu deret data yang dikirimkan, pulsa pertama merupakan pulsa sebagai tanda mulai, pulsa kedua hingga pulsa kesembilan merupakan data. Metode pembacaan yaitu menghitung panjang pulsa dalam satuan waktu milidetik. Panjang pulsa tiap kanal antara lain 1000 – 2000 milidetik. Sinyal ppm diterima oleh mikrokontroler menggunakan media kabel *tether* yang terhubung langsung dengan remot kontrol.

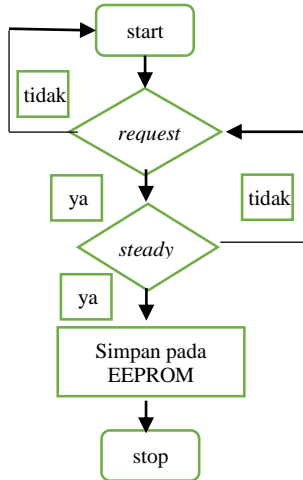


Gambar 3. 19 Koneksi antara IMU dan

Keluaran sensor ini menghasilkan nilai mentah yang biasa disebut *raw data* yang terdiri dari ax, ay, az, gx, gy, dan gz (a untuk akselerometer dan g untuk giroskop. Untuk itu diperlukan sebuah algoritma AHRS yang akan menghasilkan nilai dalam derajat Euler yang akan dijelaskan dalam sub bab selanjutnya.

3.3.3 Kalibrasi IMU

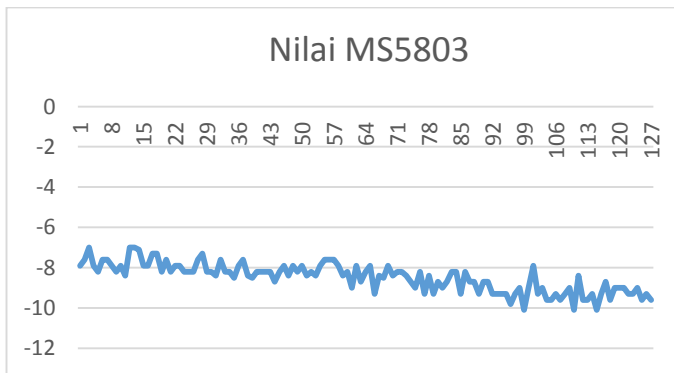
Kalibrasi IMU digunakan untuk menghindari kesalahan pembacaan sudut dikarenakan posisi sensor dan posisi robot tidak dalam satu sumbu normal atau tidak sama, karena pembacaan sensor salah maka semua proses yang dilakukan akan salah. Sehingga kalibrasi IMU sangatlah diperlukan untuk menghindari hal tersebut. Pada tugas akhir ini, kalibrasi membaca nilai *offset* kemiringan dilakukan ketikan melakukan setup. Dengan menyimpan nilai *offset* pada EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*). Ketika mengakuisisi data giroskop untuk dikonversi menjadi sudut perlu diketahui terdapat jenis kesalahan yang mempengaruhi pembacaan sensor. Kalibrasi dibutuhkan untuk melihat *offset* dari sensor dan meningkatkat akurasi nilai output sensor agar mendekati nilai sebenarnya.



Gambar 3. 20 Diagram alir kalibrasi

3.3.4 Akusisi data sensor tekanan MS5803-14BA

Akusisi data sensor MS5803-14ba menggunakan komunikasi I2C dengan alamat 0x76 . keluaran sensor ini berupa raw data yang terdiri dari nilai tekanan pada tiap bagian piezoresistif dan nilai temperatur. Ketelitian sensor ± 2 millibar, kemudian nilai sensor dirubah menjadi kedalaman dengan satuan cm dimana tiap satu mulibar mewakili satu cm.



Gambar 3. 21 grafik ketelitian MS5803

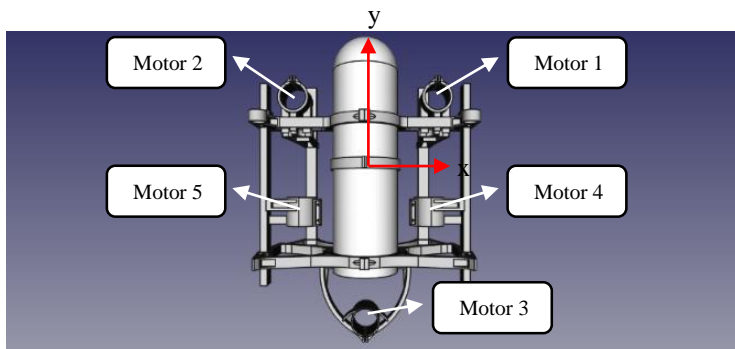
3.3.5 Perancangan gerak robot

Robot memiliki 5 buah motor yang dilengkapi dengan baling-baling pada tiap motor.

Tabel 3. 7 Arah gaya dorong putaran baling-baling

Posisi baling-baling	Searah jarum jam	Berlawanan arah jarum jam
Motor 1	Turun	Naik
Motor 2	Naik	Turun
Motor 3	Turun	Naik
Motor 4	Mundur	Maju
Motor 5	Maju	Mundur

Motor 1, 2, dan 3 digunakan untuk memberikan gaya naik atau turun, motor 1 dan 2 digunakan untuk mengkoreksi kemiringan pada sumbu y. motor bagian depan (1 dan 2) dan motor bagian belakang (3) digunakan untuk mengkoreksi kemiringan terhadap sumbu x. sedangkan motor 4 dan 5 digunakan untuk melakukan manuver maju, mundur, dan belok. Jika terjadi perubahan arah pada robot karena faktor dari luar, maka motor 4 dan 5 akan memberikan koreksi pada sumbu z.

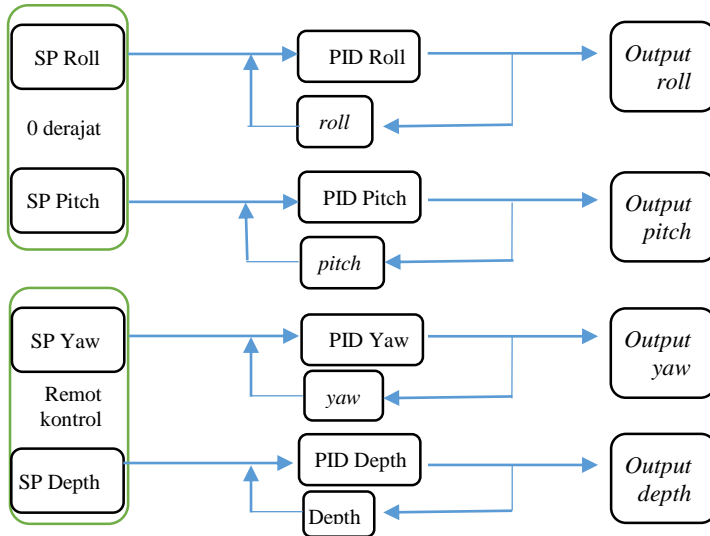


Gambar 3. 22 peletakan motor

3.3.6 Kontrol PID

Kontrol PID digunakan pada sistem *stabilizer* (*pitch*, *roll*, dan *yaw*) dan *depth hold*. *Feedback* yang digunakan adalah sensor IMU

dan tekanan. Nilai *setpoint* pada gerak *roll* dan *pitch* sebesar 0 derajat. Pada sistem *depth hold* nilai *setpoint* diambil dari nilai remot kontrol. Berikut ini diagram blok dari sistem.



Gambar 3. 23 blok diagram PID

Kontrol PID terdiri dari tiga elemen yaitu proporsional, integral, dan derivative. Ketiga elemen digunakan secara bersamaan dengan menggunakan

$$PID = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Kontrol PID ditransformasikan dengan menggunakan transformasi laplace menjadi

$$PID = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s$$

Dalam tugas akhir ini *feedback* yang digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan terdiri dari empat macam. Tiga *feedback* berupa error sudut pitch, roll, dan yaw. Satu *feedback* berupa error kedalaman yang didapat dari sensor tekanan. Sehingga bentuk *transfer function* dengan kontrol PID sebagai berikut

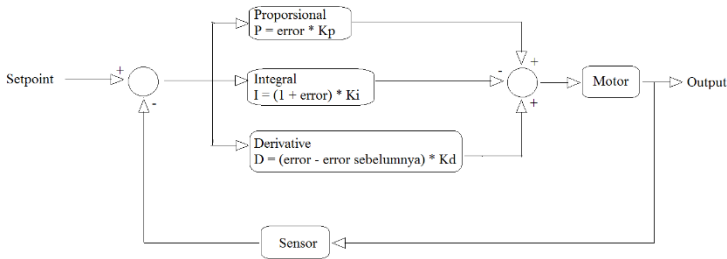
$$\frac{\phi(s)}{T(s)} = \frac{G.PID}{1 + G.PID} = \frac{\frac{l}{I_{xx}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}{1 + \frac{l}{I_{xx}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}$$

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{G.PID}{1 + G.PID} = \frac{\frac{l}{I_{yy}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}{1 + \frac{l}{I_{yy}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}$$

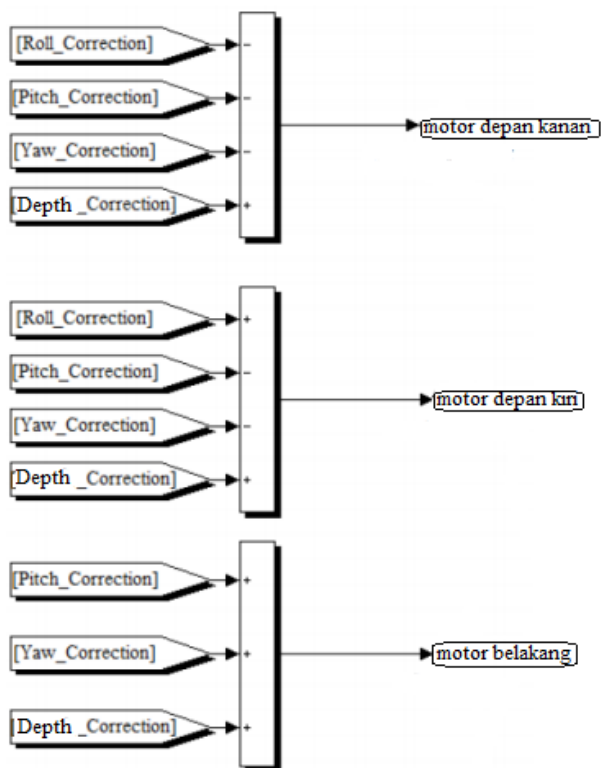
$$\frac{\varphi(s)}{T(s)} = \frac{G.PID}{1 + G.PID} = \frac{\frac{l}{I_{zz}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}{1 + \frac{l}{I_{zz}s^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}$$

$$\frac{h(s)}{T(s)} = \frac{G.PID}{1 + G.PID} = \frac{\frac{-m \cdot g + F_a - F_d}{ms^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}{1 + \frac{-m \cdot g + F_a - F_d}{ms^2}K_p + K_d \cdot s + \frac{K_i}{s}}$$

Untuk diagram blok dari sistem kontrol PID yang digunakan pada robot dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.24. dimana sensor yang digunakan adalah IMU dan sensor tekanan. Sedangkan nilai setpoint untuk kontrol pitch dan roll bernilai 0. Dan nilai setpoint untuk yaw dan kedalaman menggunakan remot kontrol. Diagram blok pada gambar 3.24 merupakan diagram blok untuk perancangan kontrol PID secara keseluruhan. Perancangan kontrol hasil dari keluaran PID untuk masing-masing indikator yang dikontrol (roll, pitch, yaw dan depth) pada masing-masing pergerakan motor dapat dilihat pada gambar 3.25.



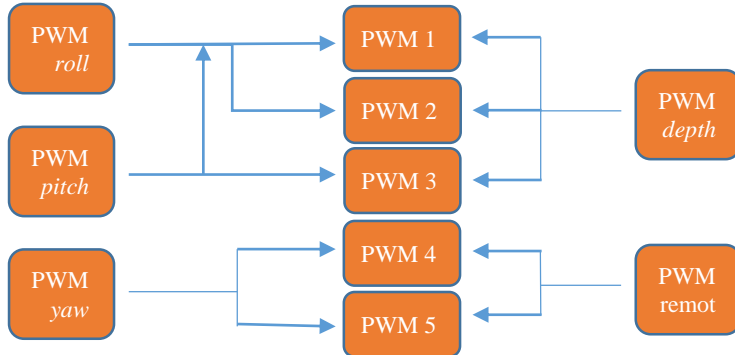
Gambar 3. 24 Diagram kontrol PID



Gambar 3. 25 Blok diagram untuk masing-masing motor

3.3.7 Stabilizer dan Depth-hold

Keluaran dari PID kemudian diproses seperti pada blok diagram dibawah ini.



Gambar 3. 26 blok diagram stabilizer dan depth-hold

3.3.8 Perancangan gerak lengan

Lengan terdiri dari 1 *joint* dan 1 *gripper*, Sistem gerak lengandan 2 *joint* menggunakan sistem manual pengontrolan tiap *joint* dan *gripper*. lengan

3.4 Spesifikasi Robot

Tabel 3. 8 Spesifikasi robot

Jumlah Motor	5 buah
Masukan Tegangan	12 V
Jarak Jangkauan Lengan	30 cm
Dimensi Robot	66 cm x 33 cm x 25 cm
Berat di udara	3500 gram
Jarak Kendali	0 – 10 meter
Kedalaman Maksimum	13 m

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari sistem yang telah dirancang. Bab ini bertujuan untuk mendapatkan data yang kemudian dilakukan analisa pada masing-masing pengujian. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan, pengujian gaya dorong motor didalam air, pengujian sistem *stabilizer* terhadap kecepatan putaran motor, pengujian sistem kontrol kedalaman, pengujian sistem *stabilizer* robot di dalam air, pengujian kontrol kedalaman robot di dalam air, pengujian *gripper* robot untuk menggenggam objek di darat, pengujian *gripper* robot untuk menggenggam objek didalam air, dan tingkat keberhasilan robot untuk mengambil objek.



Gambar 4. 1 Robot secara keseluruhan



Gambar 4. 2 Robot tampak atas

4.1 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI merupakan suatu hal yang sangat penting jika suatu alat, karena HMI merupakan penghubung antara manusia dengan mesin atau alat itu sendiri. Salah satu HMI yang diberikan pada ROV ini adalah monitor yang menampilkan kamera yang terletak pada bagian depan ROV. Dimana ditampilkan pada gambar berikut



Gambar 4. 3 tampilan layar monitor

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa lengan robot masih terlihat dan tentu saja mempermudah untuk melakukan pengambilan barang dengan cara mengarahkan lengan robot pada objek yang diambil

4.2 Pengujian Gaya Dorong Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan gaya dorong motor didalam air. Dengan didapatkan gaya dorong motor maka dapat dicari nilai gaya-gaya yang akan diberikan pada wahana oleh motor. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasang propeller yang akan digunakan. Kemudian motor akan disambungkan dengan power supply 12v. motor dikopel dengan loadcel atau alat timbang. Kemudian akan muncul nilai gaya dorong yang diberikan motor terhadap alat pengukur berat tersebut. Dari hasil pengujian didapatkan gaya dorong motor maksimum sebesar 0.6288 kg atau 628.8 gram.

4.3 Pengujian Wahana Dalam Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi wahana ketika tidak diberikan gaya dari motor didalam air.



Gambar 4. 4 posisi robot ketika didalam air

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan benda yang bermacam-macam beratnya pada robot dengan kondisi seperti pada gambar 4.4. dimana benda yang diletakan berada diatas permukaan air, sehingga berat benda tidak terpengaruh oleh gaya apung dari benda itu sendiri. Dari pengujian ini akan didapatkan gaya dorong atau gaya apung robot. Hasil dari pengujian ini ditunjukan pada tabel berikut

Tabel 4. 1 pemberian beban

Benda (gram)	hasil
600	Tenggelam
500	Tenggelam
300	Tenggelam
200	Tenggelam
150	Seimbang
100	Terapung

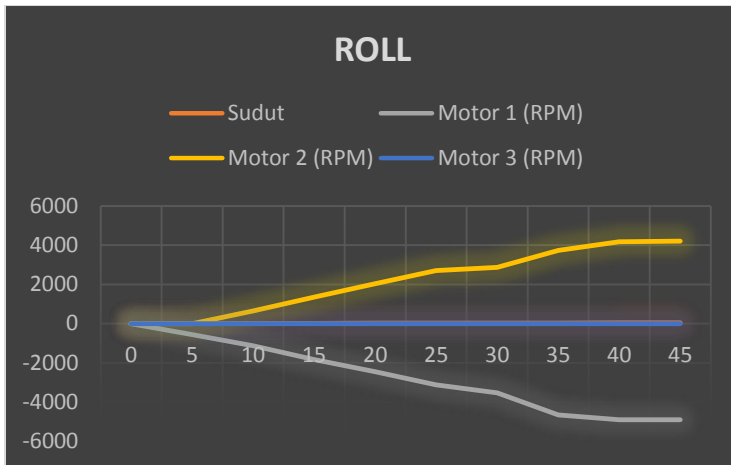
Dari hasil pengujian pada tabel 4.1 didapatkan berat benda untuk mendapatkan hasil yang seimbang pada 150 gram.

4.4 Pengujian *Stabilizer*

Pada pengujian *stabilizer* bertujuan untuk mengetahui respon kecepatan putaran motor terhadap derajat kemiringan robot. Terdapat dua kali pengujian, pertama pengujian nilai RPM motor terhadap kemiringan, pada pengujian kecepatan putaran motor dilakukan didarat karena pengukuran rpm menggunakan tachometer atau pengukur putaran dalam satuan RPM, pengujian hanya bisa dilakukan didarat saja. Pengujian dilakukan dengan robot disengaja diletakan pada posisi miring dengan kemiringan 0 hingga 45 derajat dengan kenaikan 5 derajat, kemudian putaran motor diukur menggunakan tachometer. Berikut hasil dari pengujian *stabilizer*.

4.2.1 Kemiringan *Roll* Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Pengujian *roll* dilakukan dengan cara memiringkan robot pada gerakan *roll* atau miring kanan dan kiri dengan tujuan mengetahui respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan, dimana putaran motor dikontrol dengan menggunakan kontrol proporsional dengan nilai $K_p = 3$. Sudut kemiringan *roll* mulai dari nol sampai 45 derajat, dan sudut kemiringan *pitch* sebesar nol derajat.

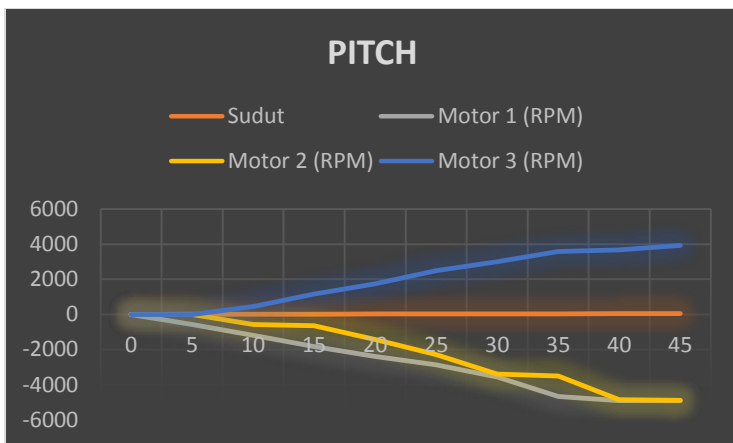


Gambar 4. 5 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan *roll*.

Motor 2 bernilai dari nol RPM sampai 4902 RPM menunjukkan motor berputar searah jarum jam sehingga memutar baling-baling untuk mendorong ke atas. Motor 1 bernilai dari nol sampai negatif 4918 menunjukkan motor berputar berlawanan arah dengan jarum jam sehingga memutar baling baling untuk mendorong ke bawah. Motor 3 bernilai nol dikarenakan motor 3 diletakan pada bagian belakang dirancang hanya terpengaruh dengan kemiringan *pitch*.

4.2.2 Kemiringan *Pitch* Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Pengujian *roll* dilakukan dengan cara memiringkan robot pada gerakan *roll* atau miring kanan dan kiri dengan tujuan mengetahui respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan, dimana putaran motor dikontrol dengan menggunakan kontrol Proporsional dengan nilai $K_p = 3$. Kemiringan yang diberikan sebesar 0 sampai 45 derajat. Kemiringan *roll* sebesar 0 derajat.. Sehingga didapatkan respon dari putaran motor 1, motor 2, dan motor 3 ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 4. 6 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap kemiringan *pitch*.

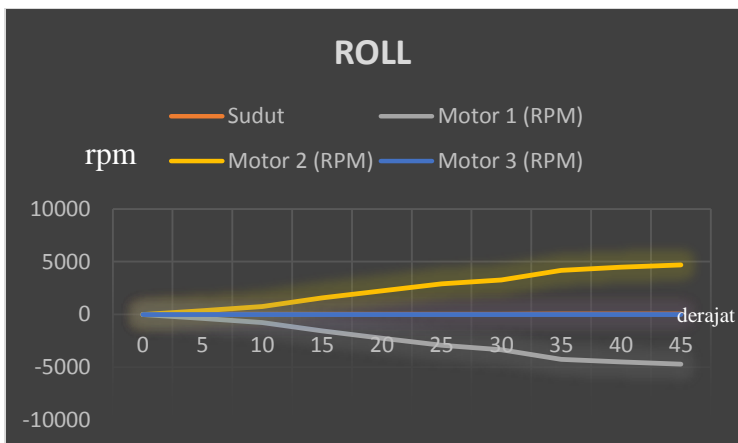
Motor 1 bernilai dari nol RPM sampai 4932 RPM menunjukkan motor berputar searah jarum jam sehingga memutar baling-baling untuk mendorong ke bawah. Motor 2 bernilai dari nol sampai negatif 4918 menunjukkan motor berputar berlawanan arah dengan jarum jam sehingga memutar baling baling untuk mendorong ke bawah. Motor 3 bernilai dari nol RPM hingga 3998.

Dari hasil pengujian respon kecepatan putaran motor terhadap sudut kemiringan *roll* dan *pitch* terjadi ketidak selarasan tiap motor. Seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

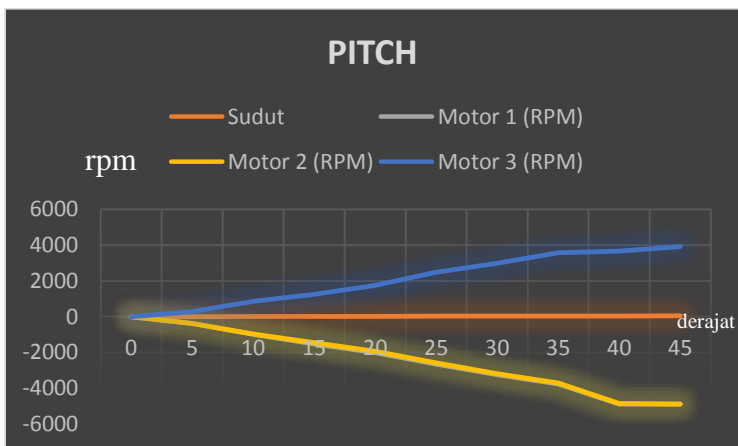
Tabel 4. 2 Kesalahan respon kecepatan motor terhadap sudut *roll*

No	Sudut	Motor 1 (RPM)	Motor 2 (RPM)	Motor 3 (RPM)
1	0	0	0	0
2	5	-564	0	0

Pada motor 1 bernilai -564 sedangkan motor 2 masih bernilai 0. Hal ini terjadi karena posisi sensor tidak nol derajat, dan belum dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan nilai *offset* sensor IMU.



Gambar 4. 7 Respon kecepatan motor setelah kalibrasi (*roll*)



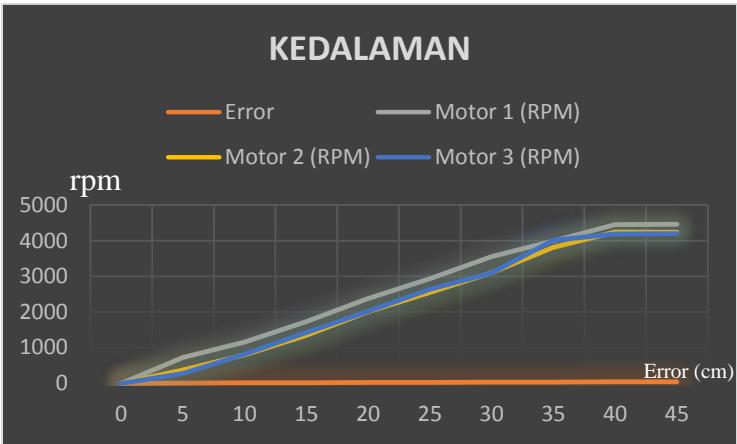
Gambar 4. 8 Respon kecepatan motor setelah kalibrasi (*pitch*)

Pada grafik diatas merupakan respon motor terhadap sudut kemiringan *pitch* dan *roll* setelah dilakukan kalibrasi IMU.

4.3 Kontrol Kedalaman

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon kecepatan putaran motor terhadap nilai *error* kedalaman dengan kondisi sudut

roll dan *pitch* sebesar nol derajat. Nilai $K_p = 3$. Hasil pengujian nilai error dengan putaran motor ditunjukkan pada tabel berikut :



Gambar 4. 9 Grafik respon kecepatan putaran motor terhadap nilai *error* kedalaman sebelum kalibrasi

Terjadi ketidakselarasan pada motor 1 yang dikarenakan sensor IMU belum dikalibrasi. Angka perbedaan nilai ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 3 Data kecepatan putaran motor terhadap nilai *error* kedalaman sebelum kalibrasi

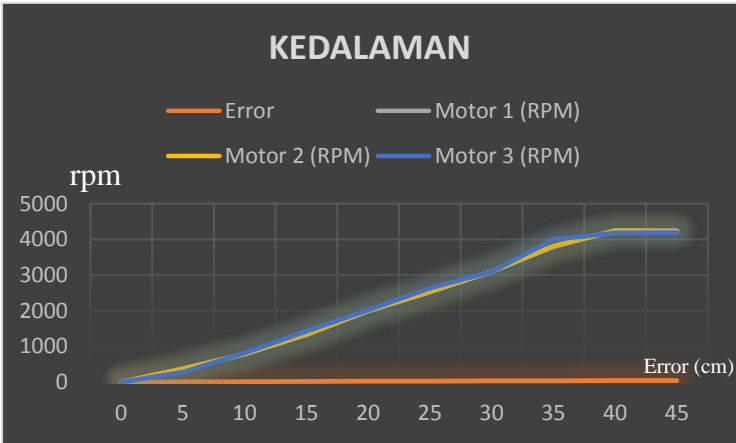
No	Error	Motor 1 (RPM)	Motor 2 (RPM)	Motor 3 (RPM)
1	0	0	0	0
2	5	725	373	278
3	10	1154	792	817
4	15	1727	1339	1425

Dari data diatas dinyatakan bahwa semakin besar nilai kesalahan pada sudut maka semakin besar pwm yang diberikan ke motor. Namun terdapat perbedaan RPM yang tidak diharapkan, ketika nilai error sudut 5 derajat menghasilkan nilai RPM pada motor

satu sebesar -575 namun motor dua dan tiga tidak berputar. Hal ini disebabkan karena kalibrasi IMU belum dilakukan, sehingga nilai *offset* kemiringan sensor belum disesuaikan dengan posisi netral pada robot .

Tabel 4. 4 Data kecepatan putaran motor terhadap nilai error kedalaman setelah kalibrasi

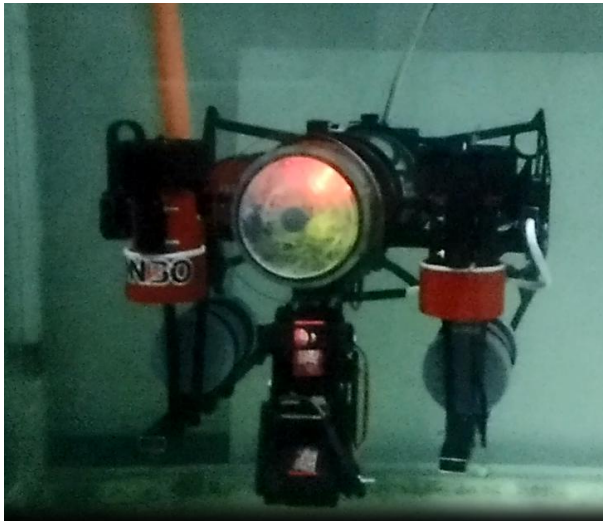
No	Error	Motor 1 (RPM)	Motor 2 (RPM)	Motor 3 (RPM)
1	0	0	0	0
2	5	354	373	278
3	10	778	792	817
4	15	1328	1339	1425
5	20	1994	2004	2016
6	25	2523	2543	2640
7	30	3097	3104	3095
8	35	3794	3812	4709
9	40	4241	4244	4186
10	45	4232	4236	4195



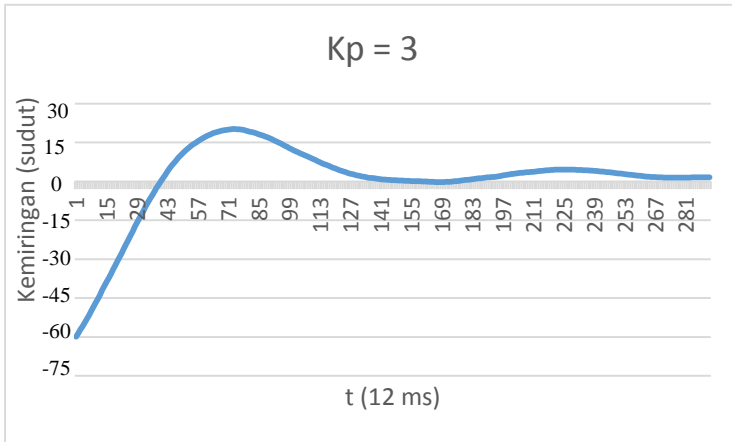
Gambar 4. 10 Respon kecepatan putaran motor setelah kalibrasi.

4.2 Kontrol PID

Pengujian sistem *stabilizer* dan *depth-hold* dilakukan dengan cara memasukkan robot kedalam aquarium uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem *feedback* dari sensor IMU. Metode yang digunakan adalah kontrol proporsional. Parameter keberhasilan adalah ketika robot dimiringkan maka akan kembali ke posisi awal tanpa ada osilasi yang besar. Dibawah ini adalah gambar ketika pengujian. Pengujian kesetabilan dilakukan dengan cara memberikan gangguan terhadap robot. Berikut hasil dari pengujian.

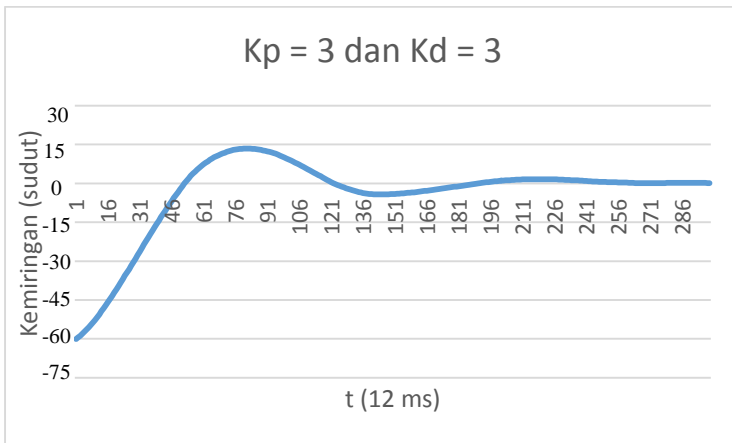


Gambar 4. 11 Pengujian dalam air



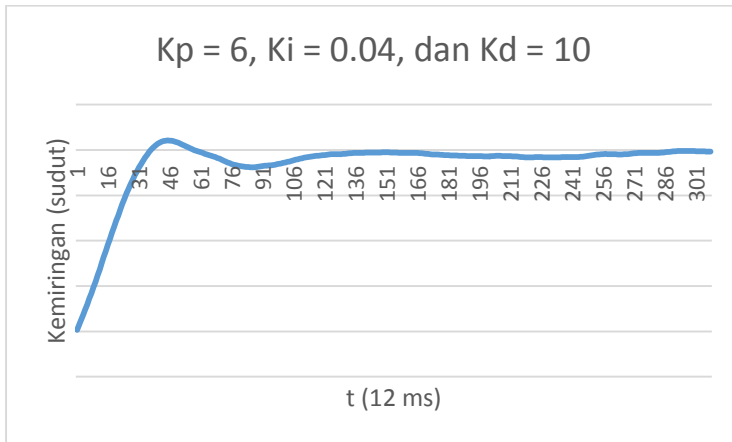
Gambar 4. 12 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan

Pada grafik diatas didapatkan dengan osilasi terjadi mulai dari 180 hingga 397 . osilasi selama 217. Dengan looping time program 12 milidetik sehingga panjang waktu osilasi = $12 \times 217 = 2600$ milidetik.



Gambar 4. 13 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan

Osilasi terjadi selama 168×12 milidetik = 2016 milidetik. Panjang waktu osilasi lebih singkat dari pada kontrol proporsional saja.



Gambar 4. 14 Grafik sudut roll dengan diberi gangguan

Osilasi terjadi selama 0.9 detik. Panjang waktu Osilasi dengan menggunakan $K_p = 3$, $K_i = 0.04$ dan $K_d = 10$ memiliki respon yang paling bagus dengan rise time 0.408 detik dan overshoot 2 derajat. Sehingga nilai gain ini yang dipilih.

4.3 Kemampuan Penyesuaian Genggaman *Gripper* Terhadap Bentuk dan Berat Objek

Pengujian kemampuan genggaman *gripper* terhadap bentuk objek dilakukan didarat dengan menggunakan beberapa sampel benda dengan bentuk yang berbeda-beda dan berat kurang dari 500 gram. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui dimensi objek yang dapat dijangkau oleh genggaman dari *gripper*. Beberapa dimensi sampel objek sebagai berikut.

Tabel 4. 5 pengujian kemampuan genggam *gripper*

Jenis objek	Bentuk genggam	Tebal dimensi (cm)	Berat (gram)	hasil
silinder	lingkaran	6.5	50	erat
pensil	lurus	1	<10	erat
Pipa pvc	lingkaran	2.5	200	Tidak erat
Silicone LED	lurus	1	50	erat
Kertas gosok	lurus	0.1	<10	erat
Botol mineral	lingkaran	9	600	erat
obeng	abstrak	0.3 dan 1.5	24	erat
Gulungan kabel	Lingkaran	10	50	tidak bisa/lepas
Kardus kesil	kubus	6	100	erat
Botol mineral	Lingkaran	9	700	erat dan goyang

Sampel objek diatas hanya merupakan sampel yang digunakan untuk pengujian dengan ukuran dan bentuk objek yang bermacam-macam. Sehingga dapat diketahui kemampuan gripper untuk menggenggam benda dengan dimensi maksimum dengan lebar 9 cm dan berat maksimun yang dapat diangkat oleh lengan sebesar 700 g.

4.4 Kestabilan Saat Mengambil Objek

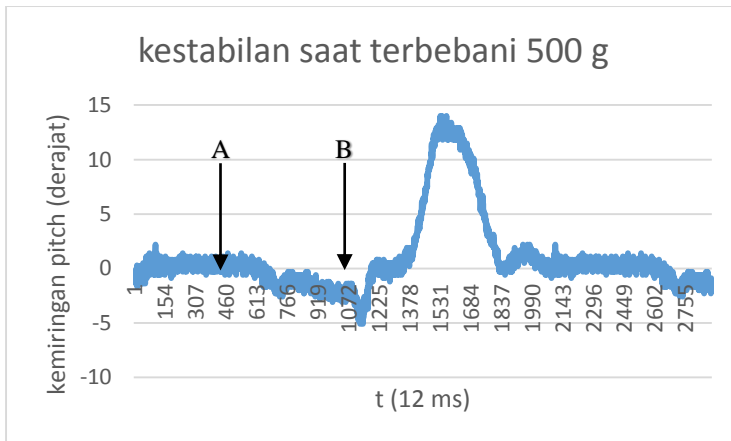
Pengujian kestabilan pitch pada saat robot terbebani oleh objek yang diambil bertujuan untuk mengetahui apakah robot mampu menjaga posisi pada garis normal atau posisi pitch 0 derajat ketika bagian depan / lengan terbebani oleh objek yang diambil.



Gambar 4. 15 Pengujian pengambilan objek

Pada gambar (4.16) bagian A gripper mulai menggenggam benda
 Pada bagian B robot mengangkat benda.

Gain dari PID masing-masing $K_p = 3$, $K_i = 10$ dan $K_d = 0.04$.
 Dari data yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa panjang waktu
 yang dibutuhkan sistem untuk menjaga kestabilan adalah selama 972
 milidetik atau 0.9 detik dengan *overshoot* sudut sebesar 3 derajat.

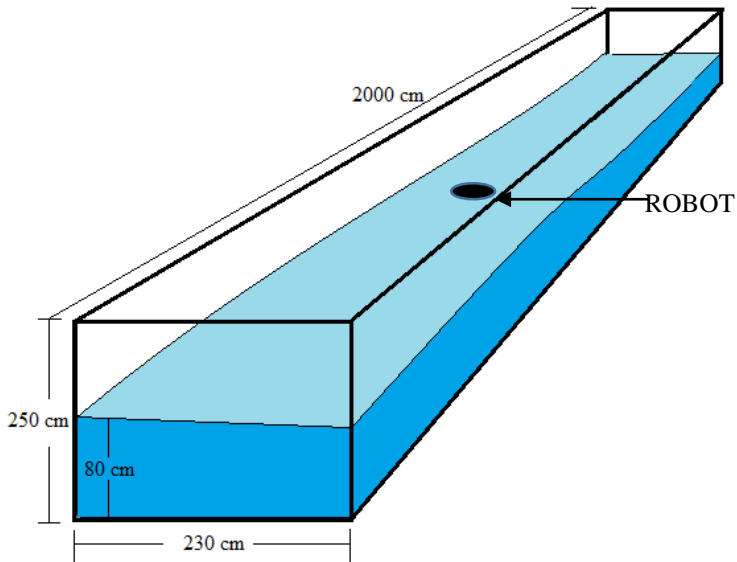


Gambar 4. 16 Grafik kestabilan pitch saat mengambil objek

4.5 Kestabilan Dalam Air Bergelombang

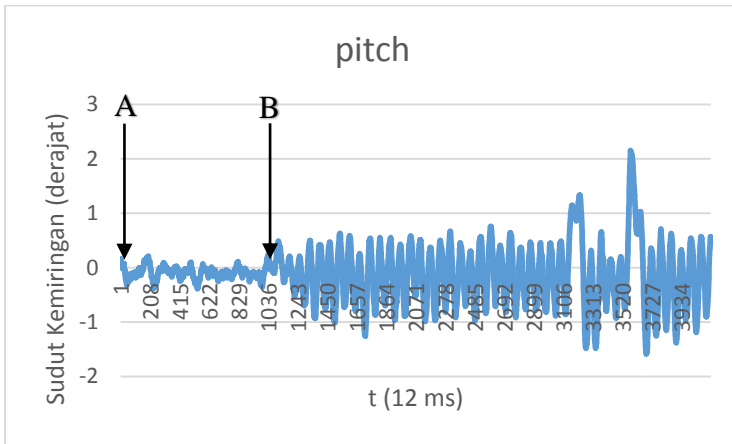
Pada pengujian ini dilakukan dilaboratorium flumetank untuk membangkitkan gelombang. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan sistem untuk mempertahankan kestabilan terhadap gangguan dari luar seperti gelombang laut. dalam pengujian ini disimulasikan dengan memberikan gelombang periodik sebesar 0.25. Tinggi gelombang 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 25 cm. kedalaman tangki 80 cm.

Robot diletakkan pada kedalaman 30 cm dan pada kondisi stabil kemudian gelombang dibangkitkan. Kemudian pengamatan dilakukan dengan melihat perubahan kemiringan dan kedalaman yang terjadi pada robot. Berikut hasil dari pengujian dengan ketinggian gelombang



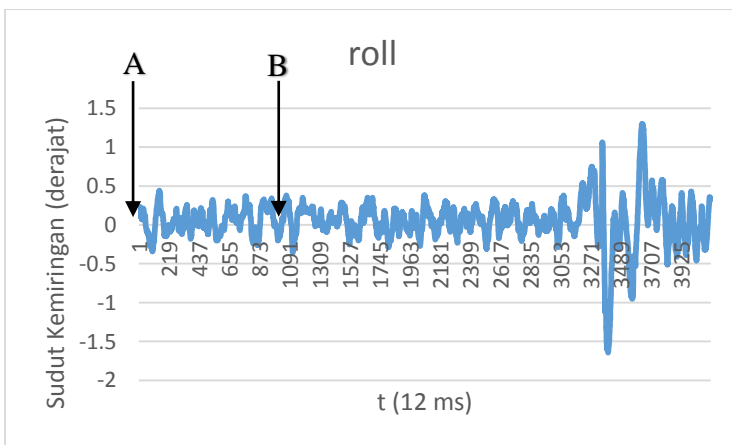
Gambar 4. 17 Dimensi flumetank

a. Tinggi gelombang 5 cm

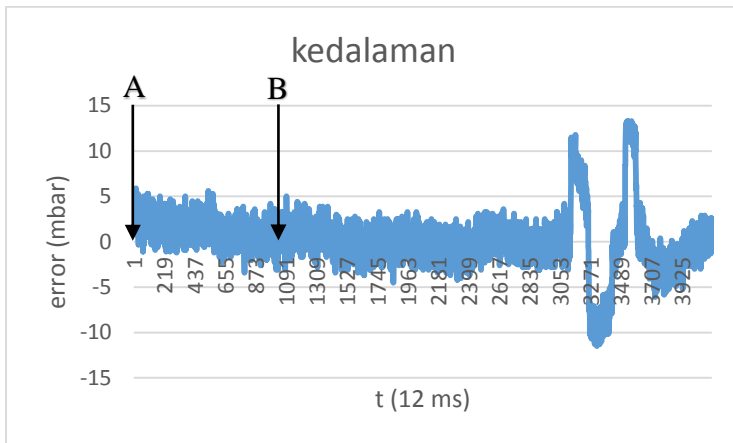


Gambar 4. 18 kemiringan pitch

Pada gambar 4.18 hingga 4.20 notasi A hingga B kondisi air tenang. Setelah notasi B menunjukkan gelombang mulai dibangkitkan. Pada kemiringan pitch terjadi sebesar 1 derajat. Pada kemiringan roll terjadi sebesar 0.5 derajat. Dan error kedalaman sebesar 5 cm

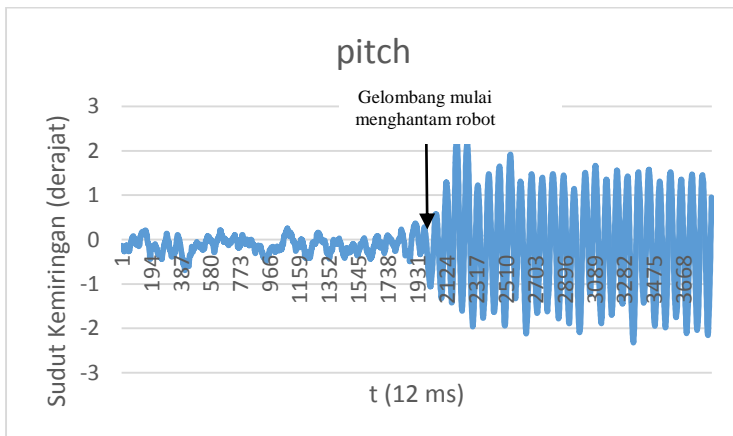


Gambar 4. 19 kemiringan roll

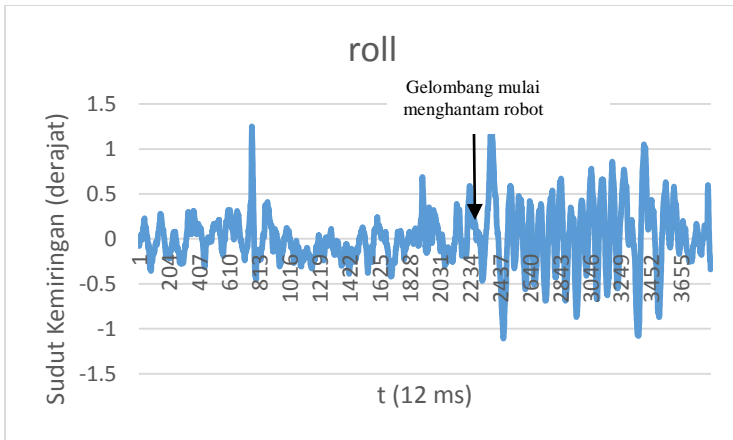


Gambar 4. 20 error kedalaman

b. Tinggi gelombang 10 cm

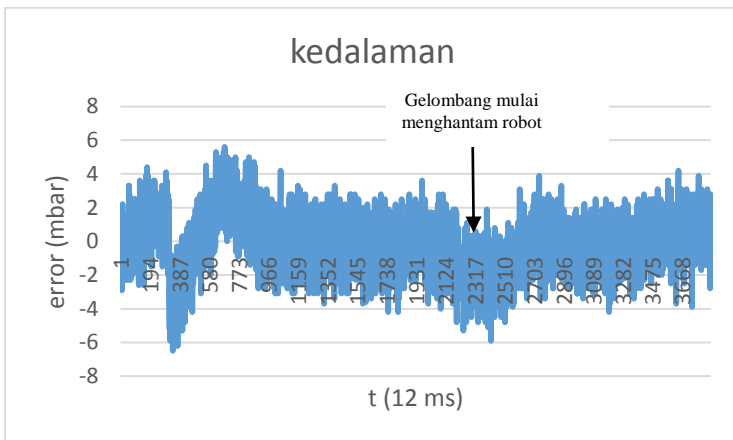


Gambar 4. 21 kemiringan pitch



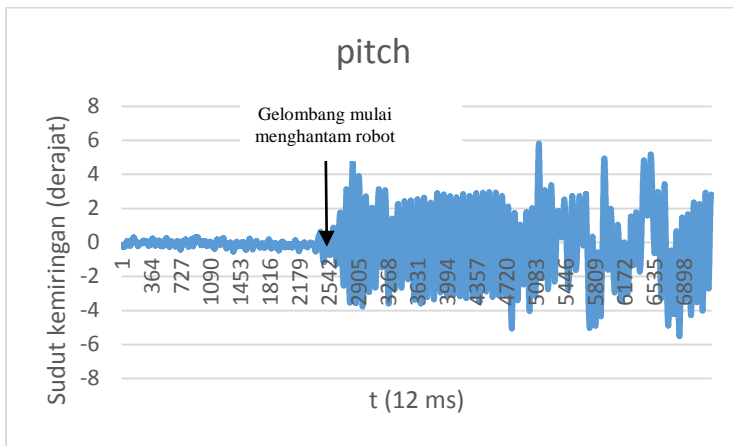
Gambar 4. 22 kemiringan roll

Pada kemiringan pitch sebesar 1.5 derajat. Pada kemiringan roll sebesar 0.7 derajat. Dan error kedalaman 3 cm.

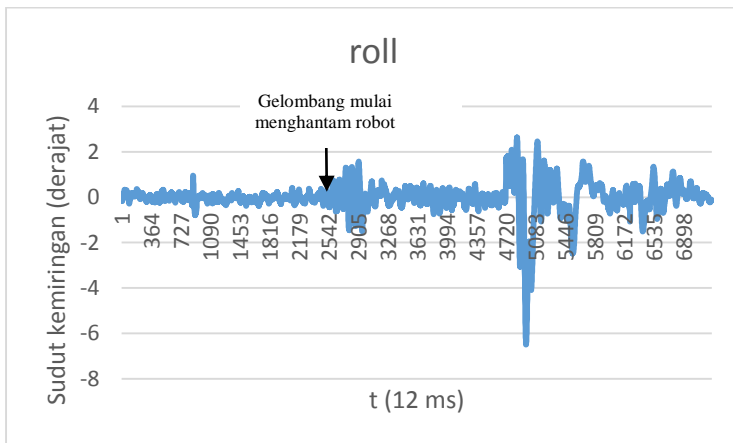


Gambar 4. 23 error kedalaman

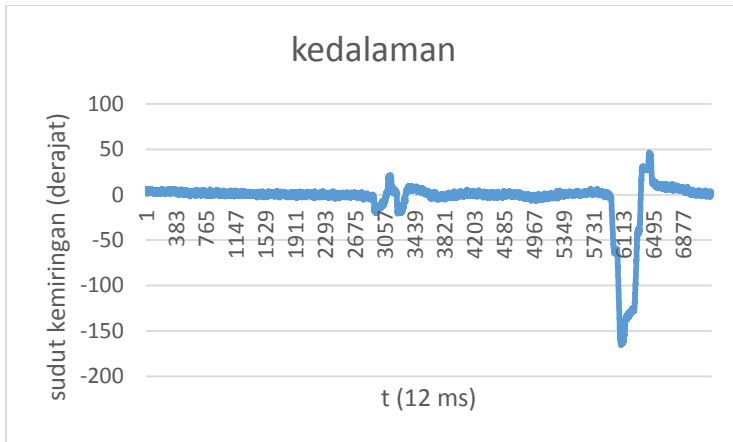
c. Tinggi gelombang 15 cm



Gambar 4. 24 kemiringan pitch



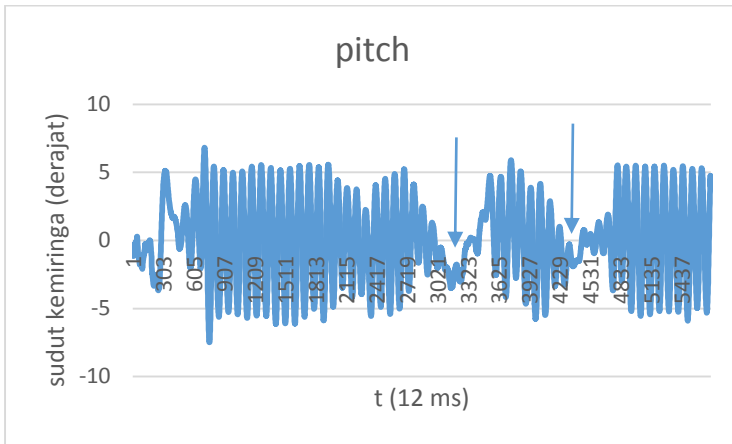
Gambar 4. 25 kemiringan roll



Gambar 4. 26 error kedalaman

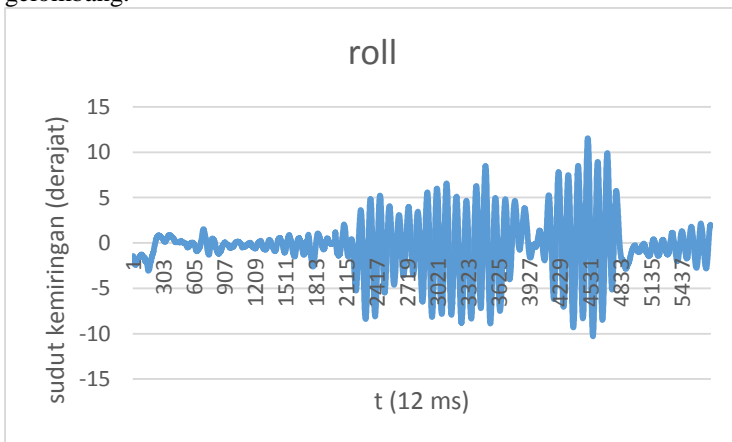
Pada kemiringan pitch sebesar 3 derajat. Kemiringan roll sebesar 1 derajat. Namun saat melakukan maneuver eror menjadi 5 derajat dikarenakan robot terlalu naik ke permukaan. Dan error kedalaman sebesar 6 cm.

d. Tinggi gelombang 25 cm

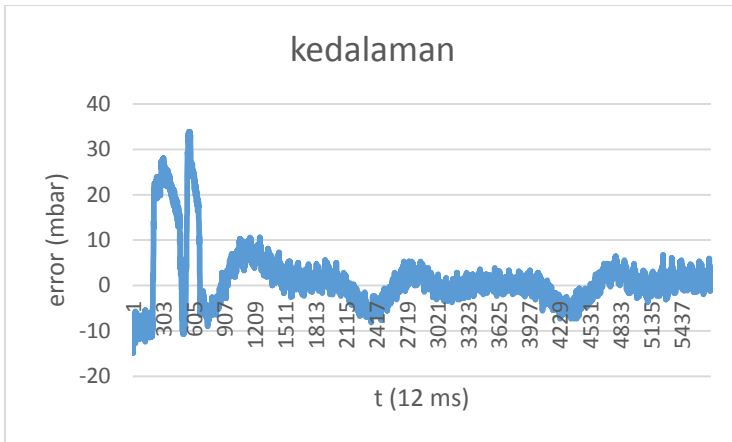


Gambar 4. 27 kemiringan pitch

Pada bagian yang diberi tanda merupakan kondisi robot sedang berbelok 90 derajat sehingga sumbu roll tegak lurus dengan gelombang.



Gambar 4. 28 kemiringan roll



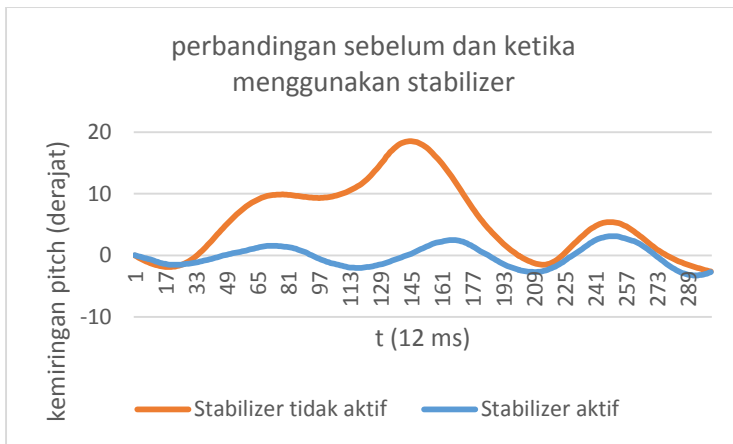
Gambar 4. 29 error kedalaman

Pada gelombang dengan tinggil 25 cm terjadi kemiringan pitch sebesar 5 derajat. Kemiringan roll sebesar 1 derajat ketika sumbu tegak lurus dengan gelombang dan 7 derajat untuk sumbu sejajar dengan gelombang. Dan error kedalaman sebesar 5 cm.

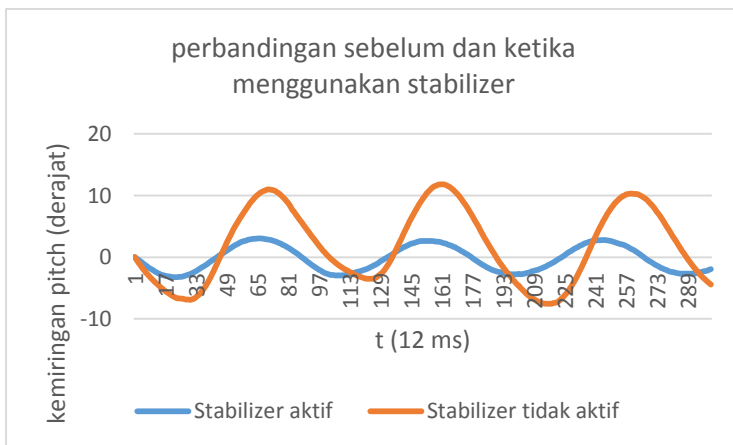
Dari keseluruhan data yang didapat dapat disimpulkan bahwa robot mampu menjaga kemiringan pitch terbesar 5 derajat, dan roll sebesar 7 derajat. Dan error kedalaman 6 cm dengan gelombang maksimum 25 cm.

Sistem mampu meredam kemiringan robot sebesar 7.5 derajat seperti ditunjukkan grafik pada gambar (3.30) dan (3.31) Menunjukkan bahwa ROV tanpa menggunakan sistem terjadi kemiringan terbesar 18 derajat sedangkan dengan menggunakan sistem kestabilan kemiringan terjadi terbesar 3 derajat

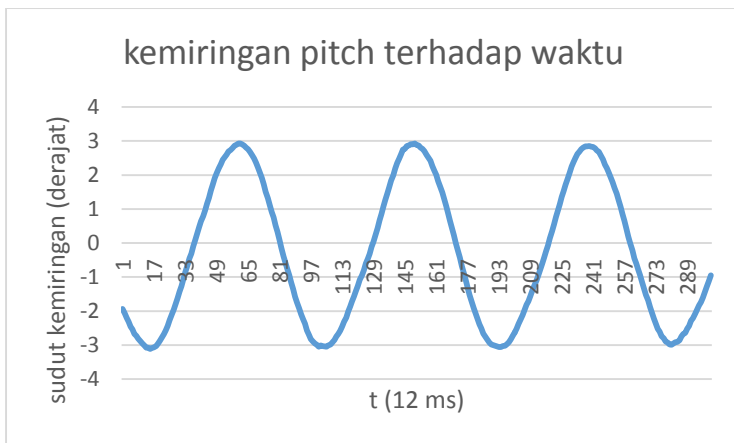
Respon PWM yang digunakan untuk mengatur putaran motor guna menjaga kestabilan ditunjukkan pada gambar 4.35, 4.36, dan 4.37.



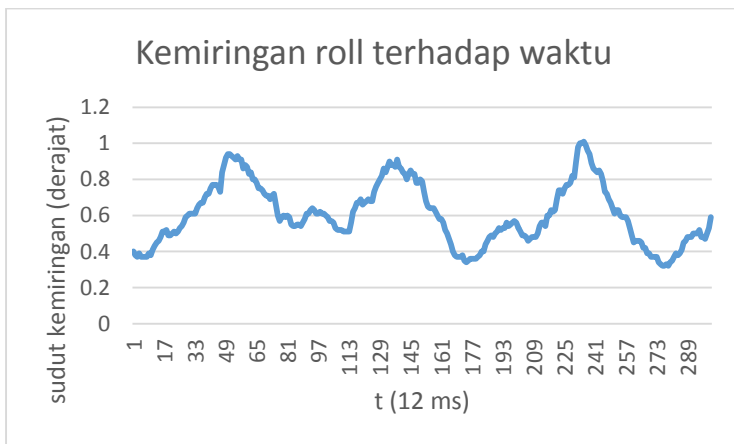
Gambar 4. 30 pengaruh stabilizer



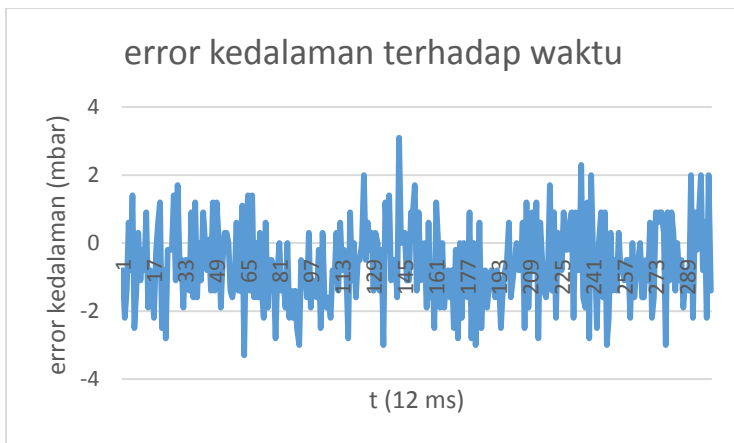
Gambar 4. 31 Grafik perbedaan menggunakan stabilizer dan tidak



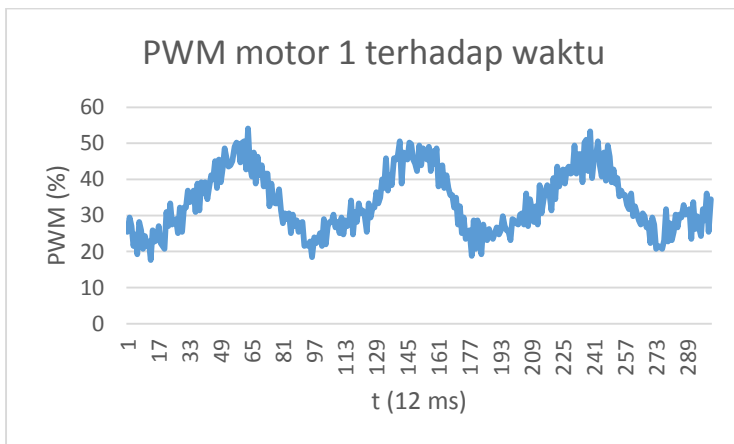
Gambar 4. 32 Grafik kemiringan pitch



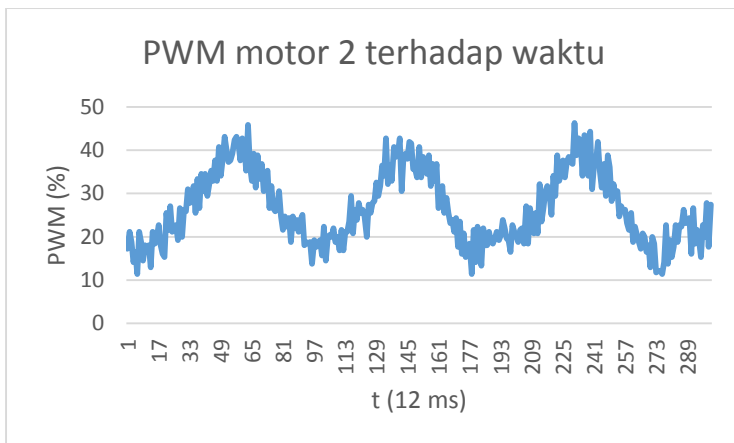
Gambar 4. 33 Grafik kemiringan roll



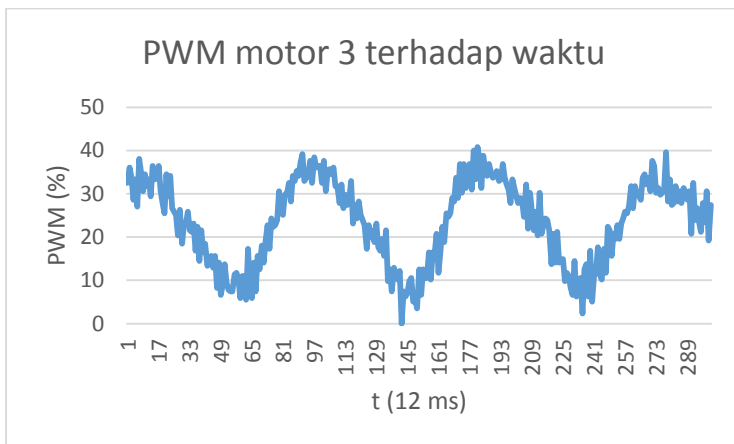
Gambar 4. 34 Grafik error kedalaman



Gambar 4. 35 Grafik PWM motor 1



Gambar 4. 36 Grafik PWM motor 2



Gambar 4. 37 Grafik PWM motor 3

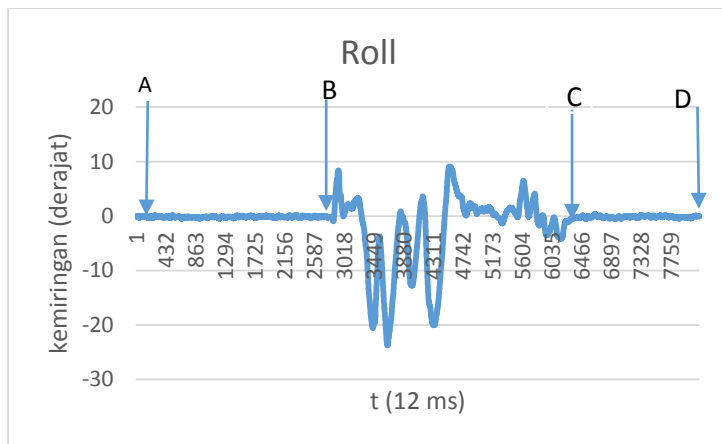
4.6 Kestabilan Dalam Gangguan Acak

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon terhadap gangguan arus dari luar seperti gelombang laut. dalam pengujian ini disimulasikan dengan memberikan arus buatan menggunakan motor bilgepump dengan kemampuan debit air 1100 gph. Jika dirubah pada satuan liter sebagai berikut

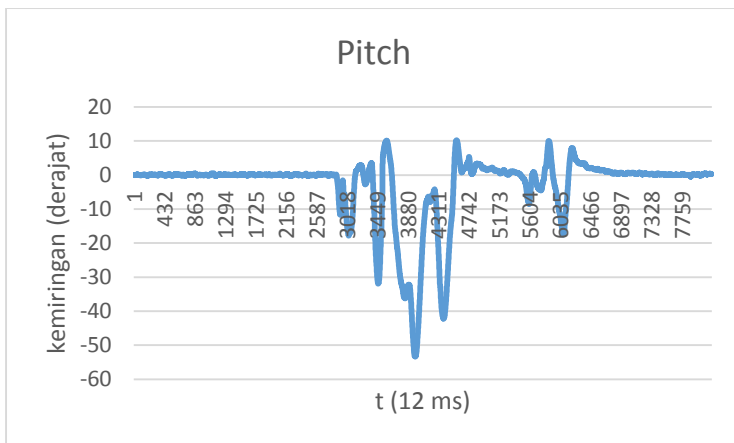
$$\begin{aligned} 1100 \text{ gallons/hour} &= 0.3 \text{ gallons/second} \\ &= 1.15 \text{ liter/second} \end{aligned}$$

Respon sistem terhadap gangguan dari luar dengan arah semburan yang bervariasi dan jarak yang bervariasi. Dan hasil respon ditunjukkan pada grafik berikut

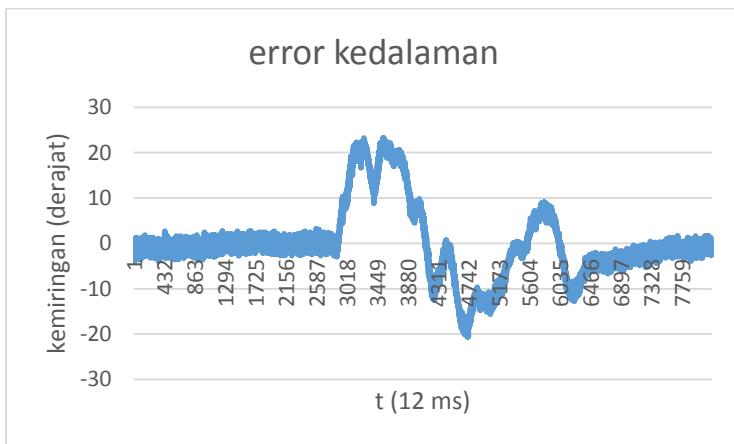
Pada notasi A sampai notasi B merupakan kondisi sumber arus atau motor bilgepump tidak mengarah pada ROV secara langsung. Pada notasi B sampai notasi C arah arus semburan diarahkan pada ROV dengan jarak 20 cm. kemudian pada notasi C sampai D sistem mampu mengembalikan kestabilan dengan arah dan gaya gangguan yang sama. Begitu juga berlaku pada respon pitch dan kedalaman pada grafik berikut



Gambar 4. 38 Respon kestabilan roll



Gambar 4. 39 Respon kestabilan pitch



Gambar 4. 40 respon kontrol kedalaman

Dari grafik hasil pengujian kestabilan pitch terjadi kemiringan hingga 56 derajat. Menunjukkan bahwa gaya dorong yang diberikan oleh semburan gangguan lebih besar dari pada gaya dorong motor pada robot.

pada hasil pengujian raspon kestabilan pada robot masih belum mampu untuk menjaga kestabilan dengan semburan air sebesar 1.15 liter/s. sehingga didapatkan error maksimum dari

error roll = 24 derajat

error pitch = 56 derajat

error kedalaman = 24 derajat

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

1. Perbedaan kecepatan putaran motor dalam kondisi sudut kemiringan 5 derajat sebesar 402 rpm disebabkan karena terdapat kemiringan pemasangan sensor, sehingga diperlukan kalibrasi IMU.
2. Gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan robot turun sebesar 0.015 N
3. Hasil pengujian *stabilizer* menggunakan PID berhasil dengan nilai *Gain pitch* dan *roll* sebagai berikut $K_p = 6$, $K_i = 0.04$ dan $K_d = 10$.
4. Robot tidak stabil ketika diberikan arus air dengan debit 1.15 liter/s.
5. Hasil pengujian kestabilan kedalaman menggunakan PID berhasil dengan nilai $K_p = 12$, $K_i = 0.04$, dan $K_d = 10$.
6. Penggunaan sistem kestabilan dapat meredam kemiringan hingga 7.5 derajat

5.2 Saran

Tugas akhir ini dapat dikembangkan menjadi lebih berguna. Robot pengambil objek bawah ini telah dilengkapi dengan sistem *stabilizer*, dan lengan robot yang dirancang dengan *motion planning* dan dikendalikan secara manual. Robot ini dapat dikembangkan pada jarak sistem kendali dengan wahana, sistem pergerakan wahana dari manual menjadi *autonomous* dan metode pengambilan objek secara otomatis dengan cara tracking object dengan menggunakan kamera. Akan tetapi semua itu tidak dibahas dalam tugas akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Hamid Koli , Elang Derdian Marindani , Aryanto Hartoyo .2015. Rancang Bangun Robot Bawah Air Mini ROV (Remotely Operated Vehicles) Berbasis Mikrokontroler: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
- [2] Andi Adriansyah . 2008 . PERANCANGAN PERGERAKAN ROBOT BAWAH AIR: Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.
- [3] Serge Montambault, Clement M. Gosselin. 2001 . "Analysis of Underactuated Mechanical Grippers, " Laval University, Canada.
- [4] John J. Craig. 2005. Introduction to Robotics Mechanics and Control. PEARSON Prentice Hall|Pearson Education International.
- [5] R M Crowder, "Automation and Robotics, Robot Kinematics", 10 Desember 2013 [Online].
- [6] K. H. Rob O'Reilly, "Sonic Nirvana: MEMS Accelerometers as Acoustic Pickups in Musical Instruments," Analog Devices Inc,1 Juni 2009.
- [7] W. R. Hamilton, Elements of Quaternions, Longmans: Green & Company, 1866.
- [8] P. Hapala, "Quaternion," Wikimedia Foundation, Inc., 11 November 2007.
- [9] L. Brits, "Conversion between quaternions and Euler angles," Wikimedia Foundation, Inc, 11 November 2007.
- [10] C. Chamberlain, "Understanding Euler Angles," CH Robotics LLC, 06 Juni 2009.
- [11] Nathaniel Pinckney, "Pulse-Width modulation for microcontroller servo control," 2006 IEEE, January/February 2006.
- [12] Measurement specialties, September 7, 2012 "Datasheet MS5803-14BA Miniature 14bar Module". (Online). www.meas-spec.com .
- [13] "Controlling DC Brush Motors with H-Bridge Driver ICs", ROHM Semiconductor, 2009.
- [14] Karl Johan Astrom, 2002, "Control System Design" .(Online) , www.cds.caltech.edu

- [15] Blue Robotics Inc., Product Literature 2017, "BlueROV", (Online) <http://docs.bluerobotics.com/bluerov/>
- [16] Joop Brokking, 30 April 2017 "YMFC", (Online) www.brokking.net/ymfc-al_main.html
- [17] "LBV Grabber." Product Literature. SeaBotix, Inc. 15Apr. 2006
- [18] Smith, S., Dunn, S., Betzer, P. and Hopkins, T. 1995. *Underwater Robotic Vehicles: Design and Control*, Edited by: Yuh, J. 299–326. Albuquerque, NM: TSI Press.
- [19] S. O. H. Madgwick, A. J. L. Harrison and R. Vaidyanathan, "Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm," in *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich, 2011.
- [20] Watkinson, J. 2004. *The Art of The Helicopter*. Elsevier's Science and Technology. Oxford, UK.
- [21] Darmawan Rasyid Hadi Saputra dan Bambang Pramujati, 2013, "Rancang Bangun *Prototype Unmanned Aerial Vehicle (Uav)* Dengan Tiga Rotor".
- [22] Djoko Purwanto, "Robot Industri dan Aplikasinya", ITS Surabaya

LAMPIRAN

PENGUJIAN *GRIPPER*

A. Pengujian gripper

A1. Obeng



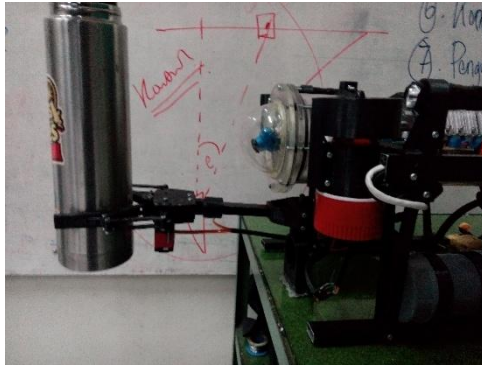
A2. Silinder ukuran 6 cm



A3. Pipa PVC ukuran 2,5 cm



B. Pengujian berat objek maksimum ketika didarat



C. Pengujian pada flumetank dengan gelombang 0.25 periodik



BIODATA PENULIS



Pandu Aulia Dyaksa, lahir di Banyuwangi, 27 Agustus 1994. Penulis memulai jenjang pendidikan di sekolah dasar di SD Negeri 2 Kaligondo pada tahun 2001 hingga 2007. Penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Genteng pada tahun 2007 hingga 2010. Kemudian penulis melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2010 hingga 2013. Pada tahun 2013, penulis memulai pendidikan strata I di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan bola voli, robotika dan aktif menjadi asisten laboratorium elektronika dasar.

Email : pandudyaksa@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan